



Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht

iStage 2



Impressum

Herausgeber

Science on Stage Deutschland e.V.
Poststraße 4/5
10178 Berlin

Koordinatoren der Workshops

Augen

Dr. Miguel Andrade
Johannes Gutenberg-Universität Mainz, Deutschland
andrade@uni-mainz.de

Ohren

Jean-Luc Richter
Collège Jean-Jacques Waltz, Marckolsheim, Frankreich
jeanluc@jlrichter.fr

Hände

Dr. Jörg Gutschank (Hauptkoordinator)
Leibniz Gymnasium | Dortmund International School, Deutschland
Vorstand Science on Stage Deutschland e.V.
j.gutschank@science-on-stage.de

Gesamtkoordination und Redaktion

Dr. Ute Hänslar, Vorsitzende, Science on Stage Deutschland e.V.
Stefanie Schlunk, Geschäftsführerin, Science on Stage Deutschland e.V.
Johanna Schulze, Stellv. Geschäftsführerin, Science on Stage
Deutschland e.V.

Revision und Übersetzung

TransForm Gesellschaft für Sprachen- und Mediendienste mbH,
www.transformcologne.de

Text- und Bildnachweise

Die Autoren haben die Bildrechte für die Verwendung in dieser
Publikation nach bestem Wissen geprüft und sind für den Inhalt
ihrer Texte verantwortlich.

Gestaltung

WEBERSUPIRAN.berlin

Illustration

tacke –atelier für kommunikation
www.ruperttacke.de

Ermöglicht durch

SAP

Druck

trigger.medien Berlin

Bestellungen

www.science-on-stage.de
info@science-on-stage.de

Zur besseren Lesbarkeit wurde auf die Verwendung der
weiblichen Form verzichtet. Mit der männlichen Form ist auch
stets die weibliche Form gemeint.

ISBN 978-3-942525-29-2 (PDF)



Creative-Commons-Lizenz:
Namensnennung, Nicht-kommerziell,
Weitergabe unter gleichen Bedingungen

3. Auflage 2016

© Science on Stage Deutschland e.V.

iStage 2

Grußwort SAP	4
Vorwort iStage 2	5
Hinweise für den Einsatz von Smartphones im Unterricht	69
App-Liste, Zusatzmaterialien & Ausblick	70
Teilnehmerinnen und Teilnehmer	71
Überblick über Aktivitäten im Rahmen von iStage 2	72
First Lego League (FLL)	73
SAP University Alliances	74

Augen

Clevere Astronomen: Mit dem Smartphone vom Klassenzimmer ins Weltall	8
iSky: Die Vermessung des Himmels	14
Farbchemie mit dem Smartphone	20

Ohren

Spektrale Klänge	26
Lärmbelastung	32
Alle Vögel sind schon da	38
Erstaunlich schnell	42

Hände

Die Vermessung unserer Welt	48
Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone	54
Sport und Physik	60
Das Magnetfeld der Erde	64

Grüßwort

„Nicht ohne mein Handy.“ – Für viele Jugendliche, und oftmals auch Kinder, sind Smartphones oder Tablets ein fester Bestandteil des täglichen Lebens. Der deutsche High-Tech Verband BITKOM stellte im April 2014 in der Studie „Kinder und Jugend 3.0“ fest: „39 Prozent der 6- bis 7-Jährigen nutzen das Internet und 76 Prozent der 8- bis 9-Jährigen. In der Altersgruppe von 10 bis 11 Jahren sind mit einem Anteil von 94 Prozent nahezu alle Kinder online und verbringen im Schnitt 22 Minuten pro Tag im Internet“. Befragt wurden 962 Kinder und Jugendliche zwischen 6 und 18 Jahren. Bei 12- bis 13-Jährigen kann mit 85 Prozent sogar von einer Vollversorgung an Smartphones gesprochen werden.

Diese Zahlen zeigen: Weder Schule noch Wirtschaft können ignorieren, dass die „digital natives“ mit diesen Technologien aufwachsen und sie als einen Teil ihrer Realität sehen. Was aber bedeutet das?

Zum einen, dass Internetkompetenz und Umgang mit digitalen Technologien Einzug in die Lehrpläne unterschiedlicher Fächer halten müssen. Zum anderen, dass auch wir als Unternehmen gefragt sind, Anreize und Möglichkeiten zu schaffen, damit Jugendliche im Smartphone mehr sehen, als einen Zugang zu sozialen Netzwerken.

Viele Lehrer fühlen sich mit der Frage alleingelassen, wie sie die Nutzung der neuen Technologien in den Unterricht integrieren können. Das Dilemma beschrieb ein Lehrer in einem Spiegel Online Artikel: „Ich weiß ... nicht, was technisch möglich ist. Uns muss eigentlich gezeigt werden, welche Möglichkeiten wir haben ... Das wäre wirklich erhellend.“ Es sind also nicht nur die Schüler, die Orientierung suchen und Unterstützung brauchen.

Als IT-Unternehmen will die SAP dazu beitragen, dass Schüler, Lehrer und Eltern erkennen, dass sich neue digitale Technologien und Geräte durchaus in den Unterricht einbinden lassen. Wir freuen uns deshalb, dass wir die Zusammenarbeit mit Science on Stage Deutschland e.V. mit „iStage 2: Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht“ fortsetzen konnten. Bereits das erste Projekt iStage 1, mit Unterrichtsmaterialien zum Thema IT im naturwissenschaftlichen Unterricht, fand mit über 11.000 Exemplaren in sieben Sprachen begeisterte Resonanz bei Schülern und Lehrern in Europa.



Aber SAP ermöglicht dieses Projekt nicht aus Selbstzweck: Die Schüler von heute sind unsere potentiellen Mitarbeiter von morgen. Schon jetzt ist ein aufgeklärter Umgang und Nutzen von Smartphones und Tablets aus dem Wirtschaftsleben nicht mehr wegzudenken. Mobile Geräte und Prozesse öffnen die Tür zu mehr Innovation, Effizienz und einer einfachen IT – ein wichtiger Erfolgsschlüssel für Unternehmen, aber auch für den persönlichen beruflichen Werdegang.

Talente zu fördern, sowie für den Umgang mit neuen Technologien fit zu machen und zu begeistern ist schon seit langem ein Grundelement des gesellschaftlichen Engagements der SAP. Seit mittlerweile zehn Jahren unterstützt die SAP das Bildungsprogramm FIRST LEGO League (FLL), das bei Kindern und Jugendlichen spielerisches Interesse an Naturwissenschaft und Technik weckt und soziale Kompetenzen trainiert: Mit Spaß und Spannung werden sie dazu angespornt, komplexe Aufgaben mit Einfallsreichtum gemeinsam zu lösen.

Ich freue mich, mit dieser Broschüre interessante und nützliche Experimente mit dem Smartphone vorstellen zu dürfen, welche auch außerhalb des Klassenraums Aha-Momente garantieren.

Lehrer erhalten die dringend benötigte Orientierungs- und Inspirationsquelle für die sinnvolle Integration des Handys in den Unterricht, während Schüler neue Perspektiven der schulischen Nutzung des Handys, abseits von Facebook, Twitter und Co., entdecken können.

Ich bedanke mich für das große Engagement der Lehrkräfte aus 14 europäischen Ländern, die bei der Erstellung der Unterrichtseinheiten mitgewirkt haben. Ohne ihren intensiven persönlichen Einsatz und Engagement für einen zeitgemäßen Unterricht wäre dieses Material nie entstanden. Ich bin überzeugt, dass mit dieser Broschüre vielen Lehrern praxisnahe Beispiele für modernen und kreativen Unterricht gegeben werden.

 **Michael Kleinemeier**

President, SAP SE, Middle and Eastern Europe



iStage 2 – Naturwissenschaftlicher Unterricht in Europa hat eine neue Dimension erreicht

Wir haben es wieder geschafft! Eine Gruppe engagierter Naturwissenschaftslehrer aus ganz Europa hat sich zum persönlichen Austausch getroffen. Man könnte diese Form der Kommunikation für gewöhnlich und altmodisch halten, aber ganz im Gegenteil: iStage ist modern und in vielerlei Hinsicht einzigartig.

In den meisten Schulen in Europa dürfen die Schüler aus gutem Grund ihr Smartphone nicht benutzen: Es behindert die persönliche Kommunikation in der Schule. Trotzdem haben fast alle Schüler (und Lehrer) diese leistungsstarken kleinen Helfer in der Tasche. So haben sie Zugang zum Internet, wenn das Internet in der Schule nicht richtig funktioniert. Und auch wenn man mal die Bücher zu Hause vergessen hat, ist das Wissen der Welt nur einen Fingerwisch entfernt. Gleichzeitig haben sie in diesem kleinen Gerät eine High-Tech-Laboraausstattung dabei, von der europäische Schulen nur träumen können.

Smartphones können GPS-Koordinaten, Höhe, Luftdruck, Beschleunigung, Drehwinkel, Magnetfelder und Spannung (vom Stereo-Input) messen, nicht zuletzt haben sie zwei hochauflösende Kameras. Es gibt tausende Apps, mit denen viele Messungen in den Naturwissenschaften im Prinzip mit Hilfe von Smartphones durchgeführt und analysiert werden können. Der Einsatz von Smartphones im naturwissenschaftlichen Unterricht kann daher als modern bezeichnet werden.

Die persönliche Kommunikation ist aber weiterhin wichtig und jede Schule muss eigene Regeln zur Smartphone-Nutzung aufstellen. Die Existenz der mobilen Endgeräte einfach zu ignorieren, ist keine gute Lösung. Für die Lehrer bei iStage ist der persönliche Austausch einer der Hauptfaktoren für ein erfolgreiches Projekt. iStage ist insofern einzigartig, als Lehrer aus verschiedenen Ländern sich persönlich treffen, um sich über ihre Unterrichtskonzeptionen auszutauschen.

Science on Stage Deutschland initiierte 2004 den europäischen Austauschprozess Teaching Science in Europe.



Ende 2012 wurden die Ergebnisse von Teaching Science in Europe 4 – iStage präsentiert: Unterrichtsmaterial entwickelt von Lehrern für Lehrer. iStage 2 begann mit einem Netzwerktreffen im April 2013 beim Science on Stage Festival im polnischen Słubice. Nach dem Treffen der Koordinatoren im Juli 2013 in Dortmund und einem Auftaktworkshop mit 20 Teilnehmern aus 14 europäischen Ländern im Oktober 2013 in Wien begannen die Teilnehmer mit der Entwicklung der Lehr-einheiten. Von November 2013 bis April 2014 setzten die Teilnehmer ihren Austausch per E-Mail und Moodle fort. Ein zweiter Workshop fand im Mai 2014 in Berlin statt und die Abschluss-präsentation dieser Broschüre im Dezember 2014. Diese Art persönlichen Austauschs zwischen Lehrern über solche Distanzen ist einzigartig.

Wenn 20 europäische Lehrer aus 14 verschiedenen Ländern in einem begrenzten Zeitraum Lehrmaterial entwickeln, dann besteht das Ergebnis auch nur aus einer begrenzten Zahl von Beispielen. Die meisten Ideen gibt es bereits irgendwo in Europa, einige davon sind in Artikeln in Fachzeitschriften zu finden. Es gibt auch viel mehr Ideen als die, die hier vorgestellt werden. Das Besondere ist die Art, die Ideen zusammenzubringen. Es ist schwierig, Material, das von Lehrern aus so vielen unterschiedlichen Ländern für ihre Berufskollegen in Europa entwickelt wurde, zusammenzustellen, aber wir haben es geschafft!

iStage und iStage 2 wurden von SAP unterstützt. Für die ausgezeichnete Zusammenarbeit und die Förderung sind wir SAP sehr dankbar. Unser herzlicher Dank gilt auch allen Teilnehmern – wir haben nicht nur hart gearbeitet, sondern hatten auch sehr viel Spaß! iStage ist ein einzigartiges Projekt von Lehrern für Lehrer zum Wohl unserer Schüler und wir werden auch künftig daran weiterarbeiten.

Dr. Jörg Gutschank (Hauptkoordinator)
Leibniz Gymnasium | Dortmund International School
Vorstandsmitglied Science on Stage Deutschland e.V.



Augen

Die visuelle Wahrnehmung – unsere Fähigkeit, Dinge in unserer Umwelt durch die Wahrnehmung von Licht zu sehen – ist der wohl wichtigste unserer fünf Sinne. Deshalb ist es kein Wunder, dass Smartphones als kybernetische Erweiterung unseres Körpers oft als ultraleichte Foto- und Videokameras verwendet werden. Ihr Gebrauch ist zu einem natürlichen Bestandteil des Lebens in unserer Gesellschaft geworden und wird durch die extrem beliebten sozialen Netzwerke noch verstärkt. Diese Netzwerke laden ihre Nutzer geradezu ein, Fotos und Videos zu posten, um sie Freunden auf der ganzen Welt sofort zugänglich zu machen.



Doch über die reine Bildaufnahme hinaus werden zahlreiche Apps entwickelt, die die visuellen Möglichkeiten von Smartphones erweitern. Dazu kombinieren sie die Bildaufnahme mit komplexer Bildanalyse. Die immer schnelleren Prozessoren neuerer Geräte können die Bildanalyse in Echtzeit oder mit geringster Verzögerung durchführen. So lassen sich Bilder analysieren, um QR-Codes zu erkennen, die den Nutzer zu Websites führen, oder um Texte zu erkennen oder Texte mit Bilddatenbanken aus dem Internet abzugleichen. Wenn man eine Smartphone-Kamera auf ein Bild hält, kann man z. B. ein Firmenlogo identifizieren oder Freunde auf einem Bild taggen.

Zudem liefert das Smartphone dank seiner Sensoren GPS-Koordinaten und andere Positions- und Orientierungsdaten. Durch die Kombination dieser Daten mit der Bildaufnahme-funktion werden Bilder und Daten intelligent miteinander verbunden. Dadurch steigt die Zahl der Apps, die Augmented Reality nutzen, rasant an. Sie erzeugen Bilder, die noch vor ein paar Jahren höchstens in Science-Fiction-Filmen vorkamen. So informieren manche Apps den Nutzer über Objekte, die die Kamera erfasst, seien es Sehenswürdigkeiten auf der Erde oder Himmelskörper.

Wer das Smartphone als Messgerät in naturwissenschaftlichen Projekten nutzen will, wird automatisch an Projekte denken, bei denen das Potenzial eines Smartphones zur Wahrnehmung von Licht, Positionen und Orientierungen ausgelotet werden kann. Dies ist der gemeinsame Nenner der drei Lehreinheiten in diesem Abschnitt, die Themen aus den Bereichen Astronomie, Geometrie und Chemie abdecken.

In „Clever Astronomen: Vom Klassenzimmer in den Himmel“ lernen die Schüler, wie man die Position der Sonne und der Sterne mit Hilfe des Smartphones misst. Das Smartphone dient dabei als Astrolabium (Sternhöhenmesser). Dann nutzen sie in Zusammenarbeit mit einer Schülergruppe aus einem anderen Ort die Erfahrungen, die sie gesammelt haben, zur Messung des Erdumfangs.

In „iSky: Die Vermessung des Himmels“ nutzen die Schüler das Smartphone zur Bestimmung ihrer Distanz zu weit entfernten Objekten durch Winkelmessungen. Hier könnte eine Zusammenarbeit zwischen Gruppen an verschiedenen Orten die Messung von Distanzen zu Objekten im Weltraum ermöglichen.

In „Farbchemie mit dem Smartphone“ dient das Smartphone als Kolorimeter (Farbmesser) zur Bestimmung der Konzentration einer Lösung durch einfache Bildanalyse.

 **Dr. Miguel Andrade**

Institut für Molekulare Biologie (IMB), Mainz
Fachbereich Biologie, Johannes Gutenberg-Universität Mainz
Koordinator



Clevere Astronomen: Mit dem Smartphone vom Klassenzimmer ins Weltall



Pere Compte · Immacolata Ercolino · Philippe Jeanjacquot
Gerhard Rath · Corina Toma



1 | Zusammenfassung

In dieser Lehreinheit geht es um Parallaxenmessungen – wie man Distanzen im Universum misst.

Die Entfernungen im Universum erscheinen unseren Schülern unwirklich. Der Parallaxeneffekt ist eine abstrakte Idee, die nur schwer zu verstehen ist. Beginnend mit praktischer Arbeit im Freien messen wir Abstände mit mobilen Endgeräten und simulieren Distanzmessungen im Klassenzimmer und auf dem Schulgelände sowie die Messung der Entfernung zum Mond. In einem internationalen Kooperationsprojekt können wir auch die Höhe der Internationalen Raumstation ISS bestimmen.

- ▶ **Stichwörter:** Parallaxenmethode
- ▶ **Fächer:** Physik, Astronomie, Mathematik, Geometrie, Trigonometrie
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 14–18 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Distance and Parallax, Stellarium, ISS Detector, Theodolite droid, Compass, Smart Protractor, Smart Measure
- ▶ **iOS-Apps:** Stellarium, Theodolite, Angle Meter, Compass

2 | Vorstellung des Konzepts

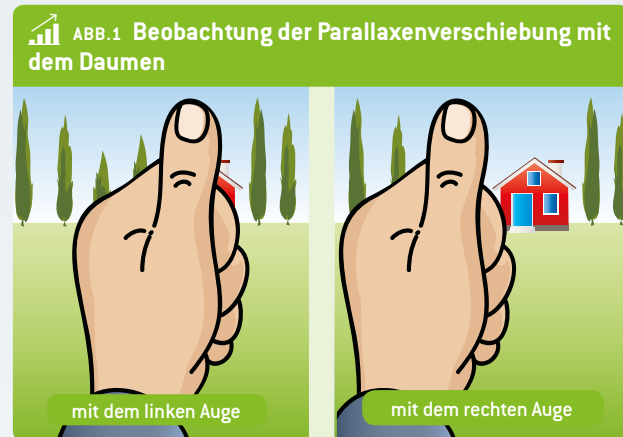
In den meisten europäischen Ländern ist Astronomie kein eigenes Schulfach, sondern wird in den Physikunterricht integriert. Parallaxenmessungen und -berechnungen sind auch Teil der Mathematik. In manchen Ländern wird Astronomie im ersten Jahr auf der weiterführenden Schule unterrichtet.

Eine Schwierigkeit im Astronomieunterricht ist die Bestimmung der Entfernung von Planeten, Sternen, Galaxien und anderen Himmelskörpern. Wie können Astronomen die Entfernung dieser Objekte messen? Für Objekte, die bis etwa 100 Lichtjahre entfernt sind, verwenden sie eine trigonometrische Methode zur Messung eines optischen Phänomens, das man den Parallaxeneffekt nennt.

Voraussetzungen: Die Schüler müssen das System zur Klassifizierung von Sternen kennen (Hertzsprung-Russell-Diagramm, Farbe und Temperatur), wissen, wie Sterne entstehen und wie astronomische Distanzen gemessen werden. Sie müssen die Grundlagen der Geometrie und trigonometrischer Funktionen kennen.

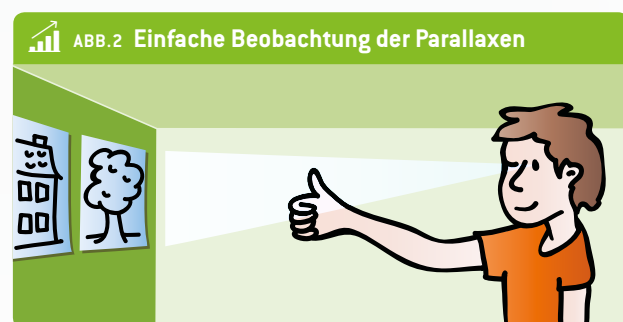
3 | Aufgabe der Schüler

3 | 1 Allgemeine Einführung zur Parallaxenmethode – Messung von Abständen auf dem Schulgelände



3 | 1 | 1 Entdeckung des Parallaxeneffekts mit dem Daumen

Man kann den Parallaxeneffekt ganz einfach erleben, indem man einen Arm vor dem Gesicht ausstreckt, den Daumen hebt und ein Objekt im Raum auswählt. Das linke Auge schließen und den Daumen in eine Linie zum ausgewählten Objekt bringen. Jetzt das linke Auge öffnen und das rechte schließen, ohne den Daumen zu bewegen, und wieder auf den Daumen sehen. Obwohl man den Daumen nicht bewegt hat, stellt man fest, dass er scheinbar die Position gewechselt hat. Diese Verschiebung der Position des Daumens bezüglich des Objekts im Hintergrund nennt man den Parallaxeneffekt. Der Effekt ergibt sich, weil jedes Auge aus einer anderen Position im Raum auf den Daumen sieht. Das ist die Parallaxenverschiebung. Der Abstand zwischen den beiden Punkten ist die Basislinie.

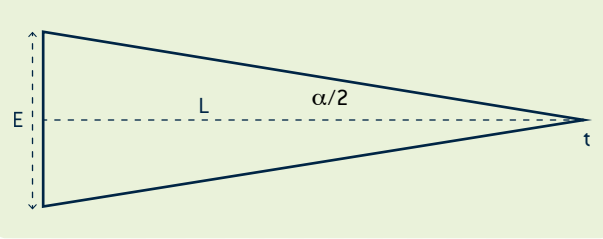


Man kann den Abstand zu einem Objekt schätzen, indem man sich die Parallaxenverschiebung zunutze macht und die folgende Formel anwendet:

ABB. 3
$$L = \frac{E/2}{\tan(\alpha/2)}$$



ABB.4 E: Augenabstand (eyes), L: Länge des Arms, t: Position des Daumens (thumb)



Dabei ist es wichtig, darauf hinzuweisen, dass der Abstand umgekehrt proportional zum Parallaxenwinkel ist. Ist der Abstand zwischen der Erde und einem Stern weit, dann ist der Parallaxenwinkel klein, ist der Abstand kurz, dann ist der Parallaxenwinkel groß.

3 | 1 | 2 **Gebrauch eines selbstgebauten Winkelmessers**

Wie können wir auf einfache Weise den Abstand zu nahegelegenen Objekten – z. B. im Klassenzimmer oder im Schulgarten – messen?

Wir ließen uns von „PARALLAX – IT’S SIMPLE!“ inspirieren. Die Autoren dieser Publikation haben sich zur Messung des Parallaxeneffekts ein Hilfsmittel aus Pappe gebastelt.

Wie in **ABB. 5** dargestellt, haben wir ein Gerät zur Messung des Parallaxenwinkels entwickelt. Es besteht aus einem Teil zum Finden der Richtung (drehbar und beweglich) und einem Steg (Basislinie = 1 Meter).

ABB.5 Messung auf dem Schulgelände



EXPERIMENT 1 Entfernungsmessung mittels Parallaxenmethode im Klassenzimmer

Verwendetes Material

- ▶ Winkelmesser (oder Smartphone mit Kompass-App)
- ▶ Messgerät
- ▶ Objekt

Für kurze Abstände ist diese Methode eigentlich nicht notwendig, aber so lernt man, wie sie funktioniert und wie man exakt misst.

Das Objekt (z. B. eine Flasche) kommt auf einen Tisch. Der Steg wird einige Meter entfernt im rechten Winkel zur Sichtlinie (Steg – Objekt) installiert. Der drehbare Teil wird in die andere Richtung auf das Objekt ausgerichtet (nach Augenmaß oder mit Hilfe eines Lasers) und der Winkel wird zwischen den beiden Sichtlinien gemessen. Der Abstand L lässt sich mit der Formel berechnen (**ABB. 3**).



EXPERIMENT 2 Mit der Parallaxenmethode Abstände auf dem Schulgelände messen

Verwendetes Material

- ▶ Messgerät
- ▶ Winkelmesser (oder Smartphone mit Kompass-App)
- ▶ Straßenlaterne am Schulgelände

Das Messgerät in einem bestimmten Abstand vom Objekt platzieren. Von beiden Enden des Gestells auf das Objekt zeigen und den Winkel zwischen den beiden Sichtlinien bestimmen. Statt eines klassischen Winkelmessers kann man auch ein Smartphone (mit Kompass-App) verwenden. Mit einem magnetischen Kompass ist das Messen des Winkels eher schwierig. Es ist wichtig, dass sich keine Gegenstände aus Eisen in der Nähe des Messgeräts befinden. Anstelle dieses Geräts kann man auch eine Messskala oder eine Tischkante mit bekannter Länge verwenden. Die Messung wird exakter, wenn man eine längere Messskala wählt, z. B. drei Meter.

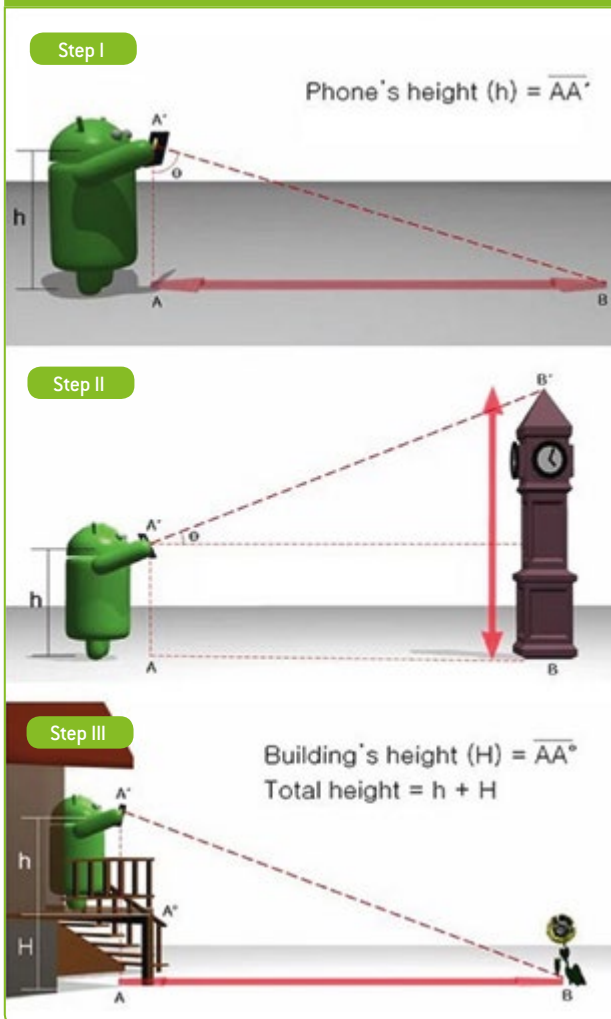
3 | 1 | 3 **Mit Hilfe von Apps die Parallaxenmethode üben und durchdenken**

Es gibt viele Apps zur Messung (kurzer) Strecken, z. B. Smart Measure. Diese nutzen die Kamera des Smartphones. Man misst einige Entfernungen innerhalb des Schulgeländes, misst mit dem Maßband nach und vergleicht die Ergebnisse.

Mit Hilfe von **ABB. 6** kann erklärt werden, wie die Messung funktioniert. Die Kamera wird dazu verwendet, das Objekt zu lokalisieren. Mit dem Beschleunigungssensor (G-Sensor) bestimmt das Smartphone das Gefälle. Der Abstand wird mit Hilfe der bekannten Höhe h (Input) und des Winkels von 90° unten berechnet.

Smart Measure ist ein geeignetes Hilfsmittel zur Messung der Höhe eines Objekts sowie seines Abstands zum Smartphone. Diese App misst auf dem Smartphone die Entfernung, Höhe,



ABB.6 Smart Measure App


Breite und Fläche eines Objekts mit Hilfe von Trigonometrie. Sie ist einfach zu benutzen: Um den Abstand sofort zu erhalten, muss man nur aufrecht stehen, den Knopf drücken und die Kamera auf den Boden direkt vor dem Objekt richten, nicht auf das Objekt. Die App Distance and Parallax wird mit den Augen und einem Stift verwendet. Zwar handelt es sich nur um ein einfaches Rechenhilfsmittel, aber die App zeigt das Prinzip der Parallaxenmessung sehr anschaulich.

3 | 2 Bestimmung der Entfernung des Mondes (Simulation)

Die Schüler sollen eine Parallaxenmessung simulieren, indem sie Daten aus Apps verwenden. **Prinzip:** Eine virtuelle Beobachtung.

Benötigt werden zwei Orte auf der Erde, die auf demselben Längengrad (Meridian), aber weit voneinander entfernt liegen – z. B. in Europa und in Südafrika. Dann ist die Höhe des Mondes zu messen, wenn er über diesen Längengrad wandert, und zwar an beiden Orten gleichzeitig.

ABB.7 Mond am nördlichen Himmel (obere Abb.) und Mond am südlichen Himmel (untere Abb.)


Um die Rechnung einfach zu machen, haben wir zwei Orte ausgewählt: 60° Nord und 60° Süd, beide auf 15° östlicher Länge. Hier die Darstellung in der App Stellarium.

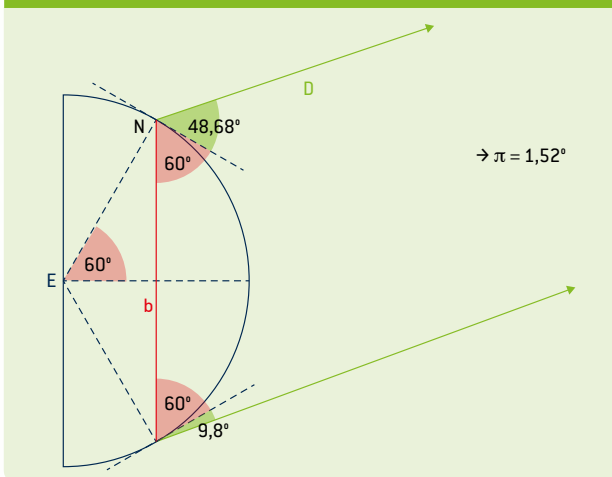
Herauszufinden ist die Zeit, zu der der Mond den Längengrad überquert. Am 9. Februar 2014 war dies um 20:20 Uhr. Stellarium zeigt die Höhe des Mondes über dem Horizont. Zu beachten ist, dass der Punkt auf dem Längengrad auf der Nordhalbkugel im Süden ist und auf der Südhalbkugel im Norden.

ABB.8 Monddaten, nördlicher Himmel


ABB.9 Monddaten, südlicher Himmel


Wir sehen: h (Norden): $48^{\circ}41' = 48,68^{\circ}$; h (Süden): $9^{\circ}48' = 9,8^{\circ}$

Daraus ergibt sich folgende Situation:

ABB.10 E: Erde, D: Distanz des Mondes


Die Basislinie b (N-S) lässt sich berechnen mit:
 $\sin 60^{\circ} = b/2 : 6.370 \text{ km} \rightarrow b = 11.033 \text{ km}$

Wenn man jedem Höhenwinkel 60° hinzuzählt, erhält man für den Parallaxenwinkel π : $180^{\circ} - 60^{\circ} - 60^{\circ} - 48,68^{\circ} - 9,8^{\circ} = 1,52^{\circ}$.

Vereinfachung: Die Berechnung mit einem rechten Winkel $\rightarrow \tan \pi = b/D$ ergibt $D = 415.786 \text{ km}$. Im Vergleich zur tatsächlichen Entfernung des Mondes von 398.733 km ist dies um 4 % zu weit.

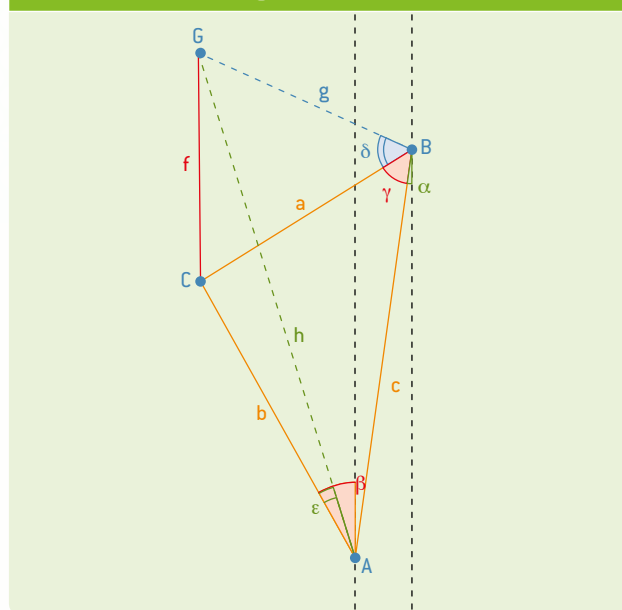
4 | Option zur Kooperation

Die Höhe der ISS – ein internationales Kooperationsprojekt

Die Internationale Raumstation ISS ist ein sehr helles Objekt, das gut zu beobachten ist. Da sie der Erde sehr nah ist (300–400 km Höhe), kann die Parallaxenmethode zur Berechnung der Höhe eines solchen astronomischen Objekts herangezogen werden.

Die Höhe der ISS kann mit Hilfe von Winkelmessungen an zwei Orten zur selben Zeit berechnet werden.

- ▶ 1. Verwendung der App ISS Detector: An jedem Ort muss ein guter Beobachtungspunkt gefunden werden. Die Messzeit muss abgesprochen werden. Diese Zeit sollte so exakt wie möglich eingehalten werden (sekundengenau), denn die ISS bewegt sich sehr schnell.
- ▶ 2. Zu bestimmen sind die Luftliniendistanz sowie die Abweichung dieser Linie nach Norden hin.
- ▶ 3. Zwei Winkel sind gleichzeitig zu messen: die Höhe und der Kompasspunkt (Winkel nach Norden). Dafür können zwei Apps verwendet werden: Smart Protractor (Höhe) und der Kompass. Alternativ kann die App Theodolite ausprobiert werden, die beide Winkel gleichzeitig angibt.
- ▶ 4. Die Daten weitergeben.
- ▶ 5. Die Höhe berechnen, dann analysieren und die Ergebnisse besprechen. Wie lässt sich die Höhe berechnen?

ABB.11 Berechnung


In dieser Abbildung sind A und B die beiden Orte. c steht für die Luftliniendistanz und α für die Abweichung.

β und γ sind die Richtungen zur ISS (hier G), gerichtet auf den virtuellen Basispunkt C. Das rote Dreieck befindet sich also auf der Erde und verbindet die Beobachtungspunkte mit dem Basispunkt der ISS.

Mit Hilfe dieses Dreiecks lassen sich die Erdabstände a und b unter Verwendung des Sinussatzes berechnen:

$$\pi = 180^{\circ} - \alpha - \beta$$

$$c / \sin \pi = a / \sin (\beta + \alpha) = b / \sin (\gamma - \alpha)$$



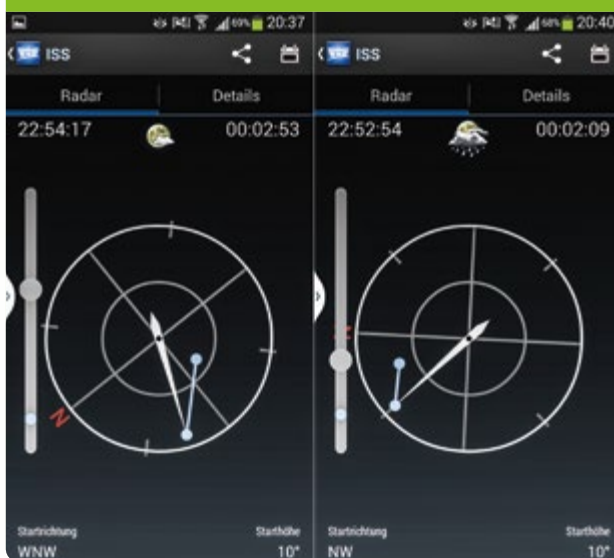
Dann wird die Höhe (f) der ISS berechnet. Hier gezeigt für Ort B. Gemessen wurde der Erdabstand a und die Höhe δ . So ergibt sich f : $\tan \delta = f/a$

Beispiel:

- ▶ Orte: Graz (A) und Neapel (I). Luftliniendistanz: 700 km, Abweichung zum Meridian: 8° .
- ▶ Datum: 20. Februar 2014. Der ISS Detector zeigt, was wir erwarten können.

In Graz sehen wir, wie sich die ISS von West nach Südwest bewegt, in Neapel sehen wir, wie sie sich von Nordwest nach Nord bewegt.

ABB.12 ISS von Graz aus gesehen (links) und ISS von Neapel aus gesehen (rechts)



Um 19:35 Uhr messen wir die Winkel in **ABB. 13**.

Das rote Dreieck zeigt den Bodenpunkt der ISS, zu diesem Zeitpunkt in der Nähe von Verona. Mit Hilfe der o.g. Formel bestimmen wir a mit 450 km und b mit 540 km.

- ▶ Höhenmessung: Graz: 56° , Neapel: 31°

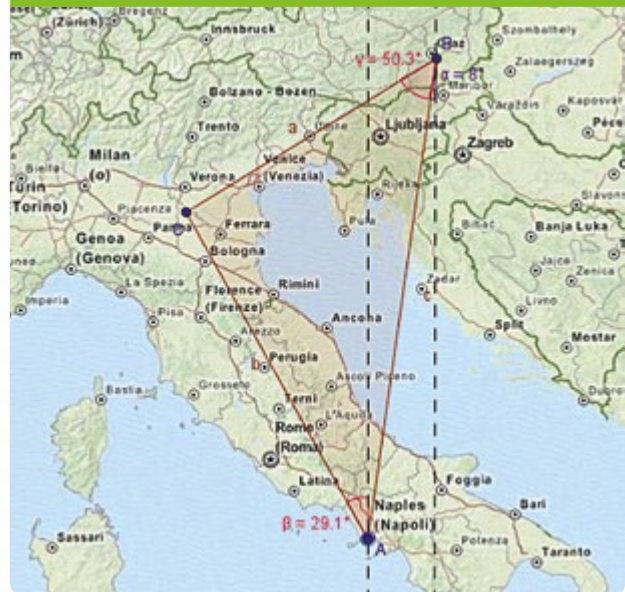
Mit der o.g. Formel berechnen wir die Höhe f mit ca. 320 km.

5 | Fazit

Was die Schüler aus diesem Experiment lernen sollen:

- ▶ Verständnis für die Methode der Messung und Berechnung astronomischer Distanzen (bis zu einhundert Lichtjahren von der Erde).
- ▶ Fähigkeiten zum Gebrauch mobiler Endgeräte zur Winkelmessung und für Berechnungen.

ABB.13 Dreieck mit den gemessenen Winkeln
(Kartenquelle: OpenStreetMap)



- ▶ Verständnis für die Beziehung zwischen der Variabilität der eigenen Messungen und der Genauigkeit astronomischer Messungen.

Nach den Experimenten sollten die Schüler in der Lage sein, mit Hilfe sehr einfacher Instrumente, wie z. B. dem Parallaxenmessgerät und einer Smartphone-App, die tatsächliche Distanz zwischen zwei Objekten zu berechnen. Mitmachaktivitäten binden die Schüler direkt in den Lernprozess ein und helfen ihnen, den Umgang mit wissenschaftlichen Hilfsmitteln zu erlernen.

Bei den Experimenten waren die Schüler begeistert bei der Sache und haben sich aktiv eingebracht. Unsere Schüler haben auch gelernt, dass trigonometrische Funktionen nicht nur im Mathematikunterricht, sondern auch im echten Leben, z. B. in der GPS-Navigation und in der Vermessungstechnik, eingesetzt werden. Astronomen nutzen täglich Parallaxenwinkel und andere Techniken zur Ermittlung der Entfernung von Sternen. Diese Einheit erklärt außerdem, wie Parallaxenwinkel zu Sternen gemessen werden und stellt andere Techniken zur Ermittlung der Entfernung des Mondes vor.

6 | Quellen

- ▶ „Parallax – it’s simple!“, Ilgonis Vilks und Alexandre Costa, EAAE Summer School Working Group, Lettland – Portugal, www.eaae-astronomy.org/WG3-SS/WorkShops/pdf/ws7_2007.pdf [29.08.2014]
- ▶ OpenStreetMap: www.openstreetmap.org



iSky: Die Vermessung des Himmels



Philippe Jeanjacquot · Gerhard Rath

Corina Toma · Zbigniew Trzmiel



1 | Zusammenfassung

Wie lassen sich Smartphones in der Astronomie nutzen? Angefangen von Planetarien-Apps gibt es eine Reihe von Möglichkeiten, um weitere Messungen an Himmelskörpern vorzunehmen – tagsüber wie auch nachts. Durch die Bestimmung der Entfernung von Sternen oder der Sonne lernen wir etwas über Orientierung, unsere Position auf der Erde und die Größe unseres Planeten.

- ▶ **Stichwörter:** Höhenmessung, Breitengrad, Längengrad
- ▶ **Fächer:** Informations- und Kommunikationstechnologien, Mathematik, Geografie, Astronomie
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 14–18 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Angle Meter, Google Maps, Planetarium, Smart Protractor, Star Chart, Theodolite droid
- ▶ **iOS-Apps:** Angle Meter, Solar Walk, Star Chart, GPS Essentials, Theodolite

2 | Vorstellung des Konzepts

Ist es möglich, eine geografische Position in Bezug zu den Sternen zu finden? Wir leben auf einer großen Kugel, die sich um die eigene Achse und um die Sonne dreht. Dadurch haben wir unterschiedliche Perspektiven und Muster am Himmel, was die Orientierung und Bestimmung unserer Position im Raum erschwert.

In unserer gesamten Geschichte waren die Sterne ein wichtiges Hilfsmittel zur Bestimmung der Position von Personen und Orten auf der Erde. In der europäischen Geschichte könnte das Astrolabium (Sternhöhenmesser) als erstes Instrument gesehen werden, das zur Lokalisierung eines Sterns im Raum verwendet wurde. Auf den großen Seefahrten im fünfzehnten Jahrhundert wurde das Astrolabium eingesetzt, um anhand der Messung der Entfernung des Polarsterns – seiner Höhe über dem Horizont, die die lokale Breite vorgibt – Positionen auf See zu bestimmen. In diesem Zusammenhang ist zu erwähnen, dass ein Fehler um nur 1° in der Höhe eine Abweichung von über 100 km in der Position verursacht.

Die Messgenauigkeit wurde mit Einführung des Sextanten verbessert, insbesondere zur Messung der Höhe der Sonne am Mittag. Aber erst als Harrison das Schiffschronometer erfand, war es auch möglich, den lokalen Längengrad zu bestimmen.

Heute können wir mit elektronischen Methoden Positionen bestimmen, doch mit Hilfe klassischer astronomischer Techniken können wir noch immer die Genauigkeit der unterschiedlichen Methoden vergleichen und beurteilen. Wir können auch traditionelle und moderne Methoden miteinander ver-

binden, um mehr über historische Messungen zu erfahren, wie z. B. das berühmte Experiment des Eratosthenes zur Bestimmung des Erdumfangs.

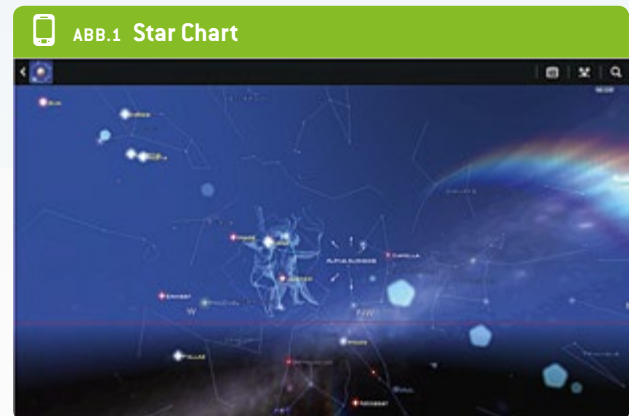
In den meisten Ländern wird dieses Thema in den Lehrplänen eher theoretisch behandelt. Die Schüler bekommen keine Beispiele, wie die Berechnungsmethoden angewendet werden können, oder gar Gelegenheit, die klassischen Methoden mit der Nutzung mobiler Endgeräte zu vergleichen. Deshalb konzentriert sich unsere Arbeit auf dieses Thema.

Die Lernziele sind:

- ▶ Grundlegende Orientierung anhand des Nachthimmels und über Smartphone-Apps.
- ▶ Vereinbarkeit von Informations- und Kommunikationstechnologien (Apps für Mobiltelefone und Tablet-PCs) mit traditionellen Techniken, um in der Astronomie Ergebnisse zu erzielen.
- ▶ Messung der Höhe zweier Sterne (Polarstern und Sonne) mit Hilfe des Smartphones und über Smartphone-Apps.
- ▶ Berechnung des Erdumfangs mit einem Experiment ähnlich dem Experiment des Eratosthenes.

3 | Aufgabe der Schüler

3 | 1 Einführung: Planetarium – Der Himmel über uns



Wir nutzen Planetarien-Apps wie Google Sky Map oder Star Chart zur Orientierung am Himmel und um etwas über Astronomie zu lernen.

Grundlagen: Horizont, Zenit, die Sternbilder und ihre Bewegungen, die Sonne, der Mond und die Planeten, Koordinaten.



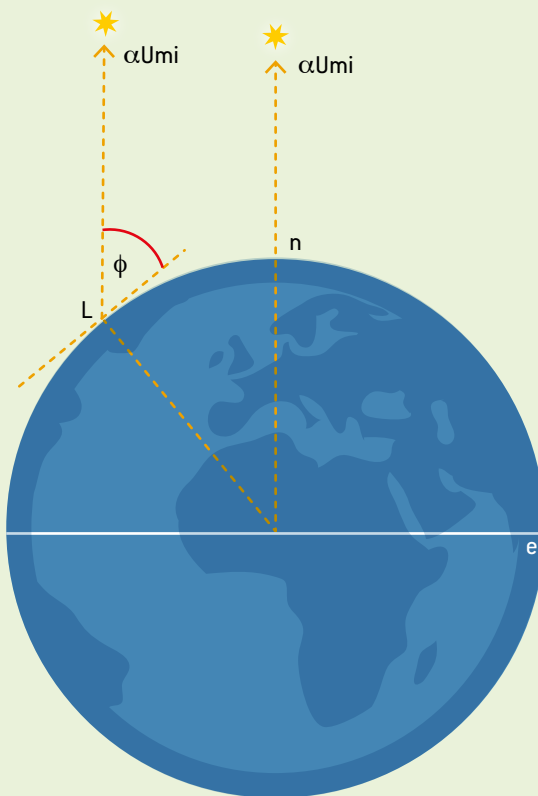


AUFGABEN Star Chart

- ▶ Nutzung im feststehenden Modus (AR-Modus aus).
- ▶ Such nach dem Horizont. Dreh dich einmal virtuell (360°) und „schau“ in jede Richtung.
- ▶ Gehe vertikal nach oben – was ist zu sehen? Wie weit kommt man?
- ▶ Suche nach dem Planeten Saturn und zoomte ihn heran bis man seine Monde sieht. Tippe einen davon an und notiere dir die Informationen dazu. Was ist bei sehr nahem Zoom zu bemerken?
- ▶ Wechsel in den 3D-Explore-Modus und reise virtuell um die Pole der Erde.
- ▶ Aktiviere den Zeit/Datum-Modus und schau zum südlichen Horizont. Nutze verschiedene Zeitstufen und notiere deine Beobachtungen.



ABB. 2 Höhe des Polarsterns = Breite



Breite = Φ | Horizont = n | Äquator = e
Richtung zum Polarstern: αUmi

3|2 Messung: Höhe des Polarsterns

Bestimmung der örtlichen Breite durch Messung der Höhe des Polarsterns. Natürlich ist die „Höhe“ eines astronomischen Objekts keine Distanz, sondern vielmehr der Winkel geradeaus nach oben zu dem Objekt. **ABB. 2** zeigt, dass die Höhe des Polarsterns genau der örtlichen Breite entspricht.

Wie kann man die Höhe eines Sterns mit dem Smartphone messen? Bei der Messung von Winkeln mit Hilfe einer App ist es wichtig, dass das Smartphone richtig eingestellt ist und dass man an der Kante entlangsieht. Wie exakt sind die Messungen? Man kann die Ergebnisse mit GPS-Daten vergleichen, um die Genauigkeit des Experiments einzuschätzen.

Hinweis: Es ist schwierig, diesen Stern zu finden, da er nicht sehr hell ist. Man kann sein Messgeschick üben, indem man mit helleren Objekten wie Planeten oder dem Mond beginnt.

ABB. 6 bis 8 zeigen ein Hilfsmittel, das die Messung durch Stabilisierung des Smartphones auf einem Stativ erleichtert.

3|3 Messung: Höhe der Sonne

In der Geschichte der Seefahrt war es immer wichtig, die Höhe der Sonne zu Mittag (Tageshöchststand) bestimmen zu können. Lange Zeit war dies die einzige Möglichkeit zur Bestimmung der Position eines Schiffs auf See (Breitengrad).

Man bestimmt die Höhe der Sonne zu Mittag am eigenen Standort mit einem mobilen Endgerät. **ACHTUNG:** Nicht direkt in die Sonne schauen! Bei der Lokalisierung des Polarsterns kann man entlang der Kante des Smartphones schauen, aber mit der Sonne geht das nicht! Man kann aber für die Messung einen Schatten im Sonnenlicht nutzen.

Vorschlag: Mit Klebeband einen Strohhalm an einer Kante des Smartphones befestigen. Den kleinsten Schatten zur Mittagszeit suchen und die Neigung des Smartphones mit einer App zur Winkelmessung bestimmen.



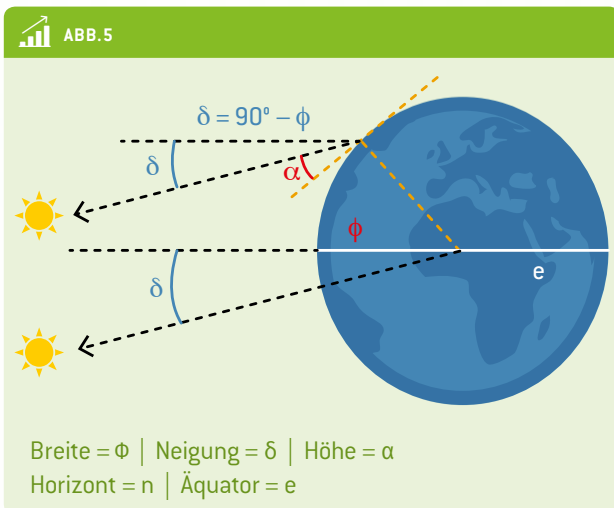
ABB. 3 Einfache Messung der Höhe der Sonne



Mit der Planetarium-App die relevanten Daten finden (z. B. Zeitpunkt des tatsächlichen Höchststands der Sonne, Neigung) und mit der eigenen Messung vergleichen. Wie exakt war die Messung?



ABB. 5 zeigt die entsprechenden Winkel. Wenn man die Neigung kennt, kann man den Breitengrad bestimmen:



Alternativvorschlag: Für eine stabilere Positionierung des Smartphones schlagen wir vor, eine Vorrichtung zu bauen, die sich auf ein Stativ montieren lässt. So ist es einfacher, es aus jeder Position präzise auf die Sonne zu richten (ABB. 6 – 8).

Erforderliche Ausrüstung:

- ▶ Stativ
- ▶ Smartphone
- ▶ MDF-Holzplatte, 3 mm
- ▶ Holzstück, 1×2 cm
- ▶ PVC-Rohr, 13/16 mm
- ▶ Mutter mit $\frac{1}{4}$ " Whitworth-Gewinde
- ▶ Gummiband
- ▶ Kleber

Bilder zur Bauanleitung gibt es unter www.science-on-stage.de/istage2-downloads.

4 | Option zur Kooperation



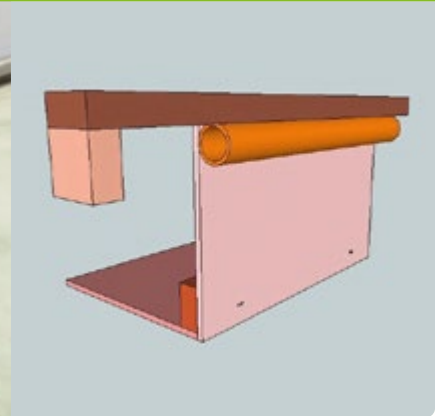
Eratosthenes-Experiment

Die Höhe der Sonne muss zum tatsächlichen Höchststand an verschiedenen Orten gemessen werden. Mit Google Maps bekommen wir die Luftliniendistanz und können den Radius der Erde berechnen.

Schritt für Schritt an zwei Orten: Bestimme einen Tag X für das Experiment. Beachte die Wettervorhersage – an beiden Orten ist mittags ein klarer Himmel erforderlich. Finde den Zeitpunkt des Höchststands heraus sowie die Luftliniendistanz für jeden Ort.

Tag X: Bestimme die Höhe der Sonne zum tatsächlichen Höchststand an zwei Orten. Teile die Daten mit deinem Koopere-

ABB. 6 - 7 - 8



rationspartner und ermittle die Differenz zwischen den beiden Höhen.

ABB.9 Beispiel für eine Messung
Tarragona – Lyon 495 km

Kartenquelle: OpenStreetMap



Berechne den Erdumfang mit der Methode des Eratosthenes.

- ▶ Tag X: 21. Juni. Planetarium-App (ABB. 10 und 11).
- ▶ Höhe der Sonne (zu messen): $72,2^\circ$ in Tarragona
- ▶ Höhe der Sonne: $67,7^\circ$ in Lyon
- ▶ Die Differenz als Winkel beträgt: $72,2^\circ - 67,7^\circ = 4,5^\circ$
- ▶ Berechnung: $4,5^\circ$ entsprechen 495 km.
- ▶ Umfang $c = ?$
- ▶ $4,5^\circ : 360^\circ = 495 \text{ km} : c$
- ▶ $c = 495 \cdot 360 : 4,5 = 39.600 \text{ km}$

Wie exakt ist die Messung?

- ▶ Wir können den Winkel mit einer Genauigkeit von $0,1^\circ$ messen, z. B. in Tarragona: $72,3^\circ$, Lyon: $67,7^\circ$. Differenz: $4,7^\circ$.
- ▶ Wir berechnen $c = 37.914 \text{ km}$. Also können wir eine Genauigkeit von etwa $\pm 2000 \text{ km}$ erwarten.
- ▶ Ist die Winkeldifferenz größer, ist die Genauigkeit größer.

ABB.10 Tarragona: Tageshöchststand: 13:56 Uhr



ABB.11 Lyon: Tageshöchststand: 13:42 Uhr



5 | Fazit

Smartphones sind leistungsstarke und multifunktionale Hilfsmittel. Nicht nur anhand von Simulationen wie Planetarien-Apps lernen wir viel über die Grundlagen der Astronomie. Wir können das Smartphone auch als Messgerät einsetzen. Die eingebauten Beschleunigungssensoren ermöglichen eine Präzision von $0,1^\circ$ in den Neigungswinkeln. Dadurch können wir nicht nur unsere eigene Position auf der Erde mit Hilfe des Polarsterns oder der Sonne bestimmen, sondern auch den Umfang der Erde nach der Methode des Eratosthenes abschätzen. Das Reizvolle an diesem Experiment ist, dass wir historische Versuche mit modernen Geräten durchführen, Methoden vergleichen und die Genauigkeit der Messungen beurteilen.

Wir erfahren, dass man auch mit dem Smartphone sehr sorgfältig arbeiten muss. Wir müssen lernen, wie man es richtig einsetzt und unsere Experimente wiederholen, um die Genauigkeit zu verbessern. Auch wenn wir neue Technologien einsetzen, brauchen wir noch „alte“ Werte. Dasselbe gilt für die „echte“ Wissenschaft.





Farbchemie mit dem Smartphone



Daniel Bengtsson · Lilla Jónás · Miroslaw Los
Marc Montangero · Márta Gajdosné Szabó

1 | Zusammenfassung

Wenn Kupfer in Wasser gelöst wird, dann ergibt dies eine blaue Lösung. Je höher der Kupferanteil in einer Lösung, desto stärker ist ihre Blaufärbung. Mit dem Smartphone bestimmen die Schüler, wie viel gelöstes Kupfer in einer wässrigen Salpetersäurelösung enthalten ist. Dazu stellen sie drei Lösungen mit bekannten Kupferanteilen her und führen ihre Messungen durch.

- ▶ **Stichwörter:** Kupferlösung, Lambert-Beersches Gesetz, Protokolle zu wissenschaftlichen Methoden
- ▶ **Fächer:** Chemie, Mathematik
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 13–16 und 16–18 Jahre
- ▶ **Android-App:** Color Grab
- ▶ **iOS-App:** ColorAssist Free Edition

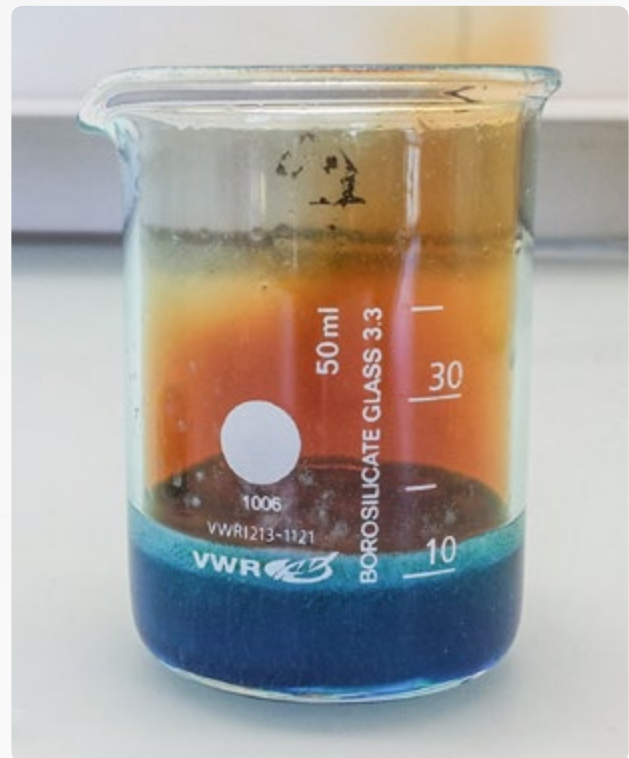
2 | Vorstellung des Konzepts

Es ist bekannt, dass Sirup mit zunehmender Verdünnung immer mehr an Farbe verliert. Das liegt daran, dass die Lichtabsorption, die für die Farbe verantwortlich ist, sich proportional zur Konzentration des gelösten Farbstoffs verhält (Lambert-Beersches Gesetz). In dieser Aufgabe testen die Schüler dieses Gesetz durch Messungen an Kupferlösungen mit Hilfe ihres Smartphones.

Diese Aufgabe ist natürlich für das Chemielabor gedacht, sie eignet sich aber ebenso für den Mathematikunterricht (die Schüler können Lösungen verwenden, die der Lehrer herstellt, und die Messungen dann daran durchführen). Im Chemielabor stellen die Schüler (mit einem Kupfersalz) drei verschiedene Lösungen mit bekannten Kupferanteilen her. Der Lehrer verdünnt eine (den Schülern) unbekannte Menge reinen Kupfers in Salpetersäure.

Die Schüler müssen dann mit dem Smartphone Daten zu den vier Lösungen sammeln. Zur Bestimmung der unbekanntes Kupfermenge, die der Lehrer gelöst hat, müssen sie dann die gesammelten Daten in ein Diagramm eintragen.

Diese Aufgabe gibt den Schülern Gelegenheit, die wissenschaftliche Arbeitsweise zu üben. Sie müssen die Frage beantworten, wie viel Kupfer der Lehrer gelöst hat. Die Herausforderung ist, selbst zu entscheiden, wie sie die Messungen durchführen. Die Schüler führen dann die Messungen durch, sammeln Daten, tragen diese in eine Tabelle ein und erstellen ein Diagramm. Das Diagramm wird zur Einschätzung der Kupfermenge verwendet.



3 | Aufgabe der Schüler

Wir empfehlen hier drei verschiedene Protokolle. Das erste ist das klassische „Kochbuchprotokoll“, das alle Details zur Durchführung vorgibt. Das zweite ist ein Protokoll für den Mathematikunterricht, wobei die Lösungen bereits vorbereitet wurden. Die Schüler nehmen im Unterricht nur die Messungen vor und führen die Analyse durch. Das dritte ist ein offenes Protokoll: Die Schüler bekommen nur einige Informationen und eine Frage zur Beantwortung.

3|1 Kochbuchprotokoll

3|1|1 Teil A: Der Lehrer stellt die unbekannte Kupferlösung her

Gefahren: HNO_3 ist ätzend! Handschuhe und Schutzbrille tragen und unter einem Abzug arbeiten!!

1,5 bis 3,5 g reines Kupfer nehmen und die exakte Masse $m(\text{Cu})$ notieren. 5-mal die Masse $m(\text{Cu})$ in cm^3 65%iger HNO_3 in ein 50-cm^3 -Becherglas geben. Unter dem Abzug arbeiten! Bei 2 g Kupfer also $5 \times 2 = 10 \text{ cm}^3$ Salpetersäure. Das Kupfer (nach und nach, falls in Pulverform) hineingeben, den Abzug schließen und warten, bis das gesamte Kupfer gelöst ist. Auf etwa 30 cm^3 mit Wasser auffüllen, dann in einen 100-cm^3 -Kolben geben, mit Wasser auf 100 cm^3 verdünnen und verschließen. Gut mischen.



3 | 1 | 2 Teil B: Die Schüler erstellen die Skala

In drei 100-cm³-Kolben etwa 5, 10 und 15 g $\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ lösen, die genauen Massen m_1 , m_2 und m_3 notieren und mit Wasser auf 100 cm³ verdünnen. Den Kolben schließen und gut mischen. Dies ergibt die Skala mit den Stufen 1, 2 und 3.

$\text{Cu}(\text{NO}_3)_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ lässt sich auch durch $\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ersetzen (mit denselben Mengen) oder durch wasserfreies CuSO_4 (in diesem Fall etwa 3,3 g, 6,6 g und 10 g verwenden).

3 | 1 | 3 Teil C: Die Schüler messen jeweils den H-Wert mit dem Smartphone

Den Kolben auf weißes Papier stellen und weißes Papier als Hintergrund verwenden. Am Boden des Kolbens dessen genaue Position mit Linien markieren. Das Smartphone fest auf dem Tisch installieren, so dass der Fokus der Kamera auf den größeren Teil des Kolbens gerichtet ist (der Sichtwinkel ist horizontal).


 ABB.1 Schüler messen den H-Wert mit dem Smartphone

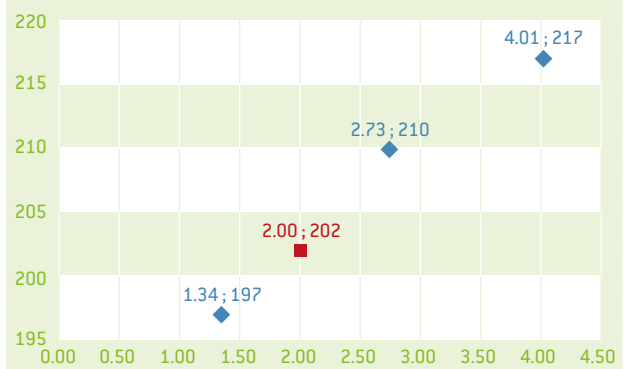


Der Abstand zwischen dem Hintergrund und dem Kolben beträgt etwa 4 cm, und zwischen Smartphone und Kolben etwa 14 cm. Den H-Wert einfach (im HSV- oder HSL-Farbmodus) in der App ablesen und notieren. Dies an allen Kolben wiederholen.

3 | 1 | 4 Teil D: Die Schüler werten ihre Ergebnisse aus

Zuerst die Masse der Skala (m_1 , m_2 und m_3) in die entsprechenden Massen reinen Kupfers umwandeln. Für die drei Werte aus der Skala ein Diagramm der H-Werte als Funktion der Kupfermasse erstellen. Den H-Wert der Probe im Diagramm einzeichnen und die Kupfermasse in der unbekanntenen Kupferlösung bestimmen.

 ABB.2 Beziehung zwischen dem H-Wert (°) und der Kupfermasse (g). Die blauen Punkte sind die drei Punkte auf der Skala. Der rote Punkt ist die unbekannte Kupferlösung.



3 | 2 Protokoll für den Mathematikunterricht

Der Lehrer muss die vier Lösungen im Voraus herstellen und die entsprechende Masse reinen Kupfers auf die Kolben schreiben. Er bereitet die Ausrüstung vor, die die Schüler wahrscheinlich brauchen oder anfordern werden, um einen objektiven Test durchführen zu können.

- ▶ 1. Die App installieren und die beste Art der Farbmessung austesten. Man sollte wissen, wie man die Messung unterbricht und wie man den Blitz einsetzt.
- ▶ 2. Die drei Kolben enthalten verschiedene Massen Kupfer, diese stehen auf dem Etikett. Die Aufgabe besteht darin, die H-Werte der Lösungen in den drei Kolben zu messen und ein Diagramm zu erstellen (siehe oben). Festzuhalten ist das Verhältnis zwischen dem H-Wert und der Kupfermasse. Je mehr Kupfer, desto dunkler die Lösung.
- ▶ 3. Eine andere Gruppe (oder der Lehrer) stellt einen Kolben mit einer unbekanntem Masse Kupfer bereit.
- ▶ 4. Messung des H-Werts der vierten Lösung mit genau derselben Methode wie zuvor. Mit Hilfe des Diagramms sollte die Kupfermasse im Kolben bestimmt werden können.

3 | 3 Offenes Protokoll

Der Lehrer bittet die Schüler, die App zu installieren, zeigt ihnen, wie sie verwendet wird und bittet sie, einen objektiven





Test mit Hilfe des H-Werts durchzuführen. Er gibt ihnen die drei Kolben mit der Kupfermasse auf dem Etikett und bittet sie, die Kupfermasse im vierten Kolben zu bestimmen.

4 | Option zur Kooperation

Die Schüler in einer Klasse führen das Experiment durch und drehen einen Film, in dem erklärt wird, wie das Experiment mit Hilfe eines Smartphones durchgeführt wird. Der Film wird an eine andere Klasse geschickt (in einem anderen Land oder an derselben Schule), die ihn als Protokoll nutzt.

5 | Fazit

In diesem Experiment lernen die Schüler:

- ▶ Je höher die Konzentration an Kupferionen, desto stärker die Blaufärbung.
- ▶ Wie man einem präzisen Protokoll folgt und mit einer eigenen Skala eine unbekannte Lösung identifiziert.
- ▶ Wie man eine Farberkennungs-App auf dem Smartphone nutzt.

Bei diesem Experiment müssen die Schüler mehrere Schwierigkeiten lösen. Vor allem sollte beim Gebrauch der App der Sichtwinkel horizontal sein, um reproduzierbare Messungen zu erzeugen.

Alle Messungen (Skala und Probe) sollten zur selben Zeit gemacht werden, um unterschiedliche Lichtbedingungen zu vermeiden.

5 | 1 Meinungen

Schüler:

- ▶ „Anders als andere Laborstunden.“
- ▶ „Mischung aus Chemie und Technologie. WOW!“
- ▶ „Das Protokoll ist leicht verständlich und einfach zu befolgen.“
- ▶ „Es war interessant, dass wir im Chemielabor unser Smartphone nutzen durften.“
- ▶ „Super, dass wir unsere Smartphones im Labor nutzen konnten. Die Kombination aus Technologie und Chemie war toll!“

Erfahrung eines Lehrers:

„Ja, ich halte es für eine gute Idee, zu üben, eigene Untersuchungen durchzuführen. Ich versuche so oft ich kann, meine Schüler ein Phänomen untersuchen zu lassen, damit sie es verstehen. Statt eines Protokolls stelle ich ihnen eine Frage oder ein Problem, worauf sie eine Antwort finden sollen. Ich nenne das ein offenes Experiment. Sie sollen etwas ausprobieren und dabei so viele Variablen wie möglich unverändert lassen. Ein objektiver Test.“

In diesem Fall zeige ich ihnen die drei Kolben und erkläre, dass man mit dem Smartphone Farbtöne messen kann. Dieser Wert oder Code kann zum Einkaufen von Farben genutzt werden. Dann bitte ich sie, das Experiment so präzise zu planen wie sie können! Ich übertreibe und zeige ihnen richtig schlechte Methoden. Ich zeige ihnen auch, wie man das Gerät vor die Lösung hält, an einem hellen oder dunklen Ort, und wie sie die Art, die Werte zu messen, so konstant wie möglich halten können.



Sie installieren die App und ich helfe ihnen dabei, sie zum Laufen zu bringen. Ich zeige ihnen, wie man die App vorübergehend anhält und wie man den H-Wert erhält. Dann planen sie die Art der Messung und ich gebe ihnen die Ausrüstung, nach der sie fragen – beispielsweise eine Lampe, ein Lineal oder ein weißes Blatt Papier.

Dann messen sie den Inhalt der drei Kolben und erfahren von mir die Masse reinen Kupfers. Bei älteren Schülern gibt man ihnen die Masse des $\text{CuNO}_3/\text{CuSO}_4$ und sie müssen berechnen, wie viel reines Kupfer sie haben. Sie erstellen mit den Werten eine Tabelle. Sie bekommen Millimeterpapier, um ein Diagramm zu zeichnen. Dann können sie sehen, wie viel Kupfer der unbekannte Kolben enthält, wenn sie die Verbindungslinie zwischen den drei bekannten Werten in das Diagramm einzeichnen.

Meine Schüler geben eine bestimmte Menge Kupfer in einen Kolben, ohne mir die Masse zu nennen. Dann gebe ich Salpetersäure in den Kolben und verdünne die Lösung auf 100 cm^3 , nachdem das Metall vollständig gelöst ist.

So können sie den H-Wert im vierten Kolben messen. Anhand ihres Werts kann ich sagen, wie viel Kupfer enthalten ist.“

5 | 2 Was kann die App?

Sie misst eine Farbe und drückt ihre Werte anhand eines Farbmodells aus (RGB, HSV, LAB etc.). Dies kann hilfreich sein, wenn man Farbe in einem ganz bestimmten Ton kaufen möchte. Man misst die Farbe mit dem Smartphone und fragt im Geschäft nach genau diesem Ton.

5 | 3 Warum wird das HSV- oder HSL-Farbmodell verwendet?

Das RGB-System ist das am weitesten verbreitete Farbmodell, aber diese Werte stehen nicht in Zusammenhang mit der Wellenlänge der Farbe. Dieses System nutzt nur eine Wellenlänge jeder Grundfarbe. Der Farbtonwert (H) des HSV- oder HSL-Farbmodells unterscheidet zwischen den verschiedenen Blautönen (Marineblau, dunkles Himmelblau, Pazifikblau etc.). Dieser Wert kann in einem bestimmten Konzentrationsbereich anstelle der Absorption verwendet werden. Ist die Lösung aber zu dünn oder zu stark, funktioniert das nicht mehr.

5 | 4 Kann diese App auch noch für andere Experimente genutzt werden?

Wir haben es zwar nicht ausprobiert, aber wir gehen davon aus, dass dasselbe Verfahren auch mit anderen farbigen Lösungen verwendet werden kann (Kaliumpermanganat, Lösungen mit Lebensmittelfarbe etc.). Man muss nur den Konzentrationsbereich ausloten, in dem der H-Wert proportional ist zur Konzentration des jeweiligen Farbstoffs.

Wir haben versucht, sie in einem verbreiteten Farbexperiment einzusetzen, und zwar mit Rotkohl. Leider war dies nicht möglich, weil die unterschiedlichen Färbungen von Rotkohl keine lineare Variation des pH-Werts in Bezug zur Wellenlänge zeigen. Daher kann der gesamte pH-Bereich nicht im Modell dargestellt werden. Wir haben auch versucht, die Farbwerte zwischen pH 3 und 10 zu differenzieren, aber mit der App war das nicht möglich. Sie kann uns nur die „Grundfarbe“ von Rotkohl liefern (pink, violett, grün, gelb), und wir können dann einen Bereich möglicher pH-Werte ableiten, aber das tun wir normalerweise mit bloßem Auge, so dass es nicht sinnvoll ist, das Smartphone für diesen Zweck einzusetzen.



Ohren

In den letzten Jahren sind Smartphones Teil unseres Alltags geworden, so dass sich die meisten von uns ein Leben ohne diese kleinen Geräte nicht mehr vorstellen können. Wenn man sich auf der Straße umschaute, hat fast jeder ein Smartphone in der Hand. Man sieht sich nicht einmal mehr an. Schüler sind da keine Ausnahme. Smartphones sind ein Tor zur Welt und all ihren Ablenkungen. In den meisten Schulen Europas sind sie allerdings verboten. Dies kann aber nicht die Lösung sein. Wenn man die moderne Technik und unsere sich verändernden Gewohnheiten ignoriert, trägt das nicht zum „Erhalt“ des Schulsystems bei, sondern vertieft höchstens die Kluft zwischen Lehrern und Schülern.



Diese kleinen Geräte aus Glas, Metall und Kunststoff sollten nicht als „Spielzeuge“ missverstanden werden. Sie sind leistungsstarke Computer mit einer Prozessorleistung, von der die Computerfreaks der 1980er Jahre nicht einmal zu träumen gewagt hätten. 2010 war das beste Smartphone bereits so leistungsstark wie der Cray 1, einer der sagenumwobenen Supercomputer von 1979, der im Los Alamos Labor zur Entwicklung von Atomwaffen für die USA eingesetzt wurde und den verschiedenen Wetterdienste zur Berechnung ihrer Vorhersagen nutzten. Und dies ist nur der Anfang, denn unsere Smartphones haben viele Sensoren, um zu erkennen, wo sie sich im Raum befinden (GPS, Beschleunigungsmesser, Kompass, Magnetometer etc.). Sie können Kommunikationsverbindungen herstellen (3G, 4G, WiFi, NFC, Bluetooth etc.) und verfügen über Datenaufnahmegерäte für Bild und Ton (meist mit zwei Kameras), Drucksensoren, Näherungssensoren, Temperatursensoren ... nur um einige Beispiele zu nennen!

Günstig, kompakt und leicht – Smartphones sind perfekte wissenschaftliche Hilfsmittel, die normale Computer in vielen Anwendungsbereichen der Naturwissenschaften ersetzen könnten. Anders als noch vor einigen Jahren müssen sich Schulen keine teuren externen Sensoren mehr kaufen.

Natürlich sind Smartphone-Sensoren nicht so empfindlich und präzise wie die professionellen Sensoren, die an Universitäten und Forschungszentren zum Einsatz kommen. Für Schulen ist dies aber kein Problem. Schließlich wollen wir nur, dass die Schüler Physik, Chemie oder Biologie durch Experimente verstehen lernen. Smartphones lassen sich bei Präzisionsproblemen kalibrieren, wie in der Lehrinheit über Lärmbelastung erklärt wird.

Statt gegen diese Technologie anzukämpfen, die unter unseren Schülern so viel Anklang findet, sollten wir sie sinnvoll einsetzen und akzeptieren, dass unsere Schulen zwar keine Gelder zur Verfügung haben, die Schüler aber ihre „wissenschaftlichen Hilfsmittel“ in der Hosentasche dabei haben! Für die Lehrer besteht die Herausforderung darin, Wege zu finden, wie dieses Hilfsmittel am besten eingesetzt werden kann. Genau dabei möchte diese Broschüre sie unterstützen.

Im Kapitel „Ohren“ stellen wir vier verschiedene Projekte zum Thema Klang vor. Unsere Lehrer aus ganz Europa erklären, wie man die Frequenzen und Harmonien von Musikinstrumenten miteinander vergleicht, wie man die Lärmkarte einer Schule zur Verringerung der Lärmbelastung erstellt, wie man die Auswirkungen der Lärmbelastung auf Vogelgesänge untersucht, und wie man die Geschwindigkeit eines Autos mit dem Doppler-Effekt misst. Diese Lehrheiten sind als Schritt-für-Schritt-Anleitungen konzipiert, so dass sie unverändert übernommen oder an den Lehrplan, das Alter der Schüler oder die aktuelle Situation angepasst werden können.

Jean-Luc Richter

Collège Jean-Jacques Waltz

Marckolsheim, Frankreich

Koordinator



Spektrale Klänge



Marco Nicolini

Emmanuel Thibault



1 | Zusammenfassung

Jüngere Schüler sind oft von Musik fasziniert, nicht nur, weil sie auf vielen verschiedenen Geräten Musik hören, sondern auch, weil einige von ihnen auf unterschiedlichem Niveau ein Instrument spielen. Deshalb ist Musik eine gute Möglichkeit, Wellenphänomene und das Verhalten von Wellen zu untersuchen. Da Wellen in verschiedenen Bereichen der Physik und Naturwissenschaften vorkommen, kann Musik als Beispiel für ein weit verbreitetes naturwissenschaftliches Konzept dienen. Das Projekt konzentriert sich auf das sogenannte Klangspektrum, insbesondere auf die Gesamtbandbreite an Frequenzen, die ein Instrument erzeugen kann. Dieser Tonumfang charakterisiert ein Musikinstrument.

- ▶ **Stichwörter:** Klang, Frequenz, Kraft, Druck, Amplitude, Note, Tonhöhe, Timbre, Diagramme, Logarithmen
- ▶ **Fächer:** Physik, Musik, Mathematik
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 16–18 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Sound Spectrum Analyzer, n-Track Tuner
- ▶ **iOS-Apps:** iAnalyzer Lite
- ▶ **Zusätzliche Computer-Software:** Freeware Sound Card Oscilloscope SW, Scope 1.41

2 | Vorstellung des Konzepts

2 | 1 Die Wissenschaft dahinter

Klang ist eine gute Möglichkeit, Wellen zu untersuchen. Wellen sind in verschiedenen naturwissenschaftlichen Bereichen zu finden: Klang, Licht, Funkübertragung und elektromagnetische Felder, sowie alle periodischen Phänomene – regelmäßig wiederkehrende Ereignisse. Wellen stellen ein gutes mathematisches Modell zur Untersuchung des Verhaltens periodischer Abhängigkeiten dar. Laptops, Tablet-PCs und Smartphones können mit dem eingebauten Mikrofon und einem Analog-Digital-Wandler Klang in eine digitale Form bringen, das heißt in Zahlen umwandeln. Mit den Zahlen auf elektronischen Geräten können Graphen erstellt werden, die die Form der Wellen und die Eigenschaften des Klangs darstellen. Für jedes Betriebssystem lassen sich zahlreiche Oszilloskop-Apps finden, die mit dem integrierten Mikrofon des Smartphones arbeiten. Die meisten verfügen über alle Funktionen, die zur Untersuchung von Wellen nötig sind. Deshalb schaffen Klänge und Smartphones der Klasse schnellen Zugang zum Thema Wellen. Viele interessante Eigenschaften von Wellen lassen sich mit einer Oszilloskop-App visualisieren. Bei dieser Aufgabe untersuchen und visualisieren wir Wellen in einer Zeit- und vor allem auch in einer Frequenzdimension. Die Darstellung von Wellen in einer Zeitdimension umfasst die Sinuskurve einer Welle, so dass ihre Periode, Frequenz und Wellenlänge sichtbar werden. Die Untersuchung von Wellen in einer Frequenzdimension wird in der Wissenschaft als Untersuchung



des Wellenspektrums bezeichnet. Darum geht es hauptsächlich in dieser Einheit.

2 | 2 Bezug zum Lehrplan

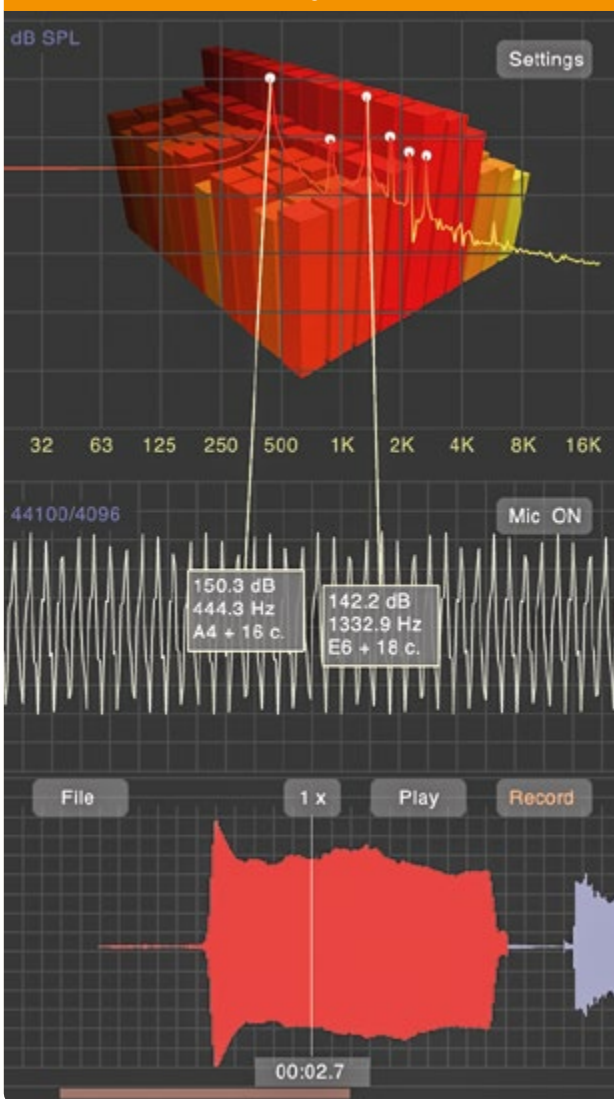
Wir haben dieses Projekt in Italien und Frankreich erarbeitet und durchgeführt. Wellen als allgemeines Thema der Akustik und Optik werden in Italien in den letzten Jahren an den weiterführenden Schulen, wenn die Schüler 17–18 Jahre alt sind, durchgenommen. In Frankreich wird akustische Musik im letzten Jahr vor dem Baccalauréat (Abschluss der Sekundarstufe in Frankreich) in den Wahlfächern der Schüler durchgenommen. Die Konzepte der Intensität, der Tonhöhe und des Timbres (der Klangfarbe) lernen alle Schüler im letzten Jahr vor dem Baccalauréat in der Lerneinheit „Eigenschaften von Wellen“ im Physikunterricht.

3 | Aufgabe der Schüler

- ▶ Die Schüler laden eine App herunter. Sie können unter den o. g. Apps wählen oder selbst eine suchen.
- ▶ Die Testinstrumente werden ausgewählt. Die Schüler sollten die Spektrumsmessungen am besten an verschiedenen



ABB.1 Screenshot: iAnalyzer Lite



Instrumenten durchführen, darunter Saiten-, Holzblas-, Blechblas- und Schlaginstrumente, denn die erhaltenen Spektren lassen sich gut unterscheiden. Verschiedene Instrumentenfamilien erzeugen unterschiedliche harmonische Reihen. Es ist auch eine gute Idee, die Spektren einer Stimmgabel, eines Tons aus einer elektronischen Quelle und einer menschlichen Stimme aufzunehmen und zu analysieren, um sie mit den Instrumenten zu vergleichen.

- ▶ Auswahl einer Reihe Testfrequenzen. Diese Frequenzen werden dann von allen Instrumenten gespielt. Wir einigten uns beispielsweise auf das eingestrichene C, F, G und A, gespielt auf einer Geige, Gitarre und Klarinette, auf einem Keyboard (das hunderte Töne und Klangfarben erzeugen kann), einer elektrischen Gitarre und einer Oboe.
- ▶ Beginn der Aufnahmephase. Der Schüler, der die Rolle des „Musikers“ übernimmt, beginnt mit einer Note, ein anderer

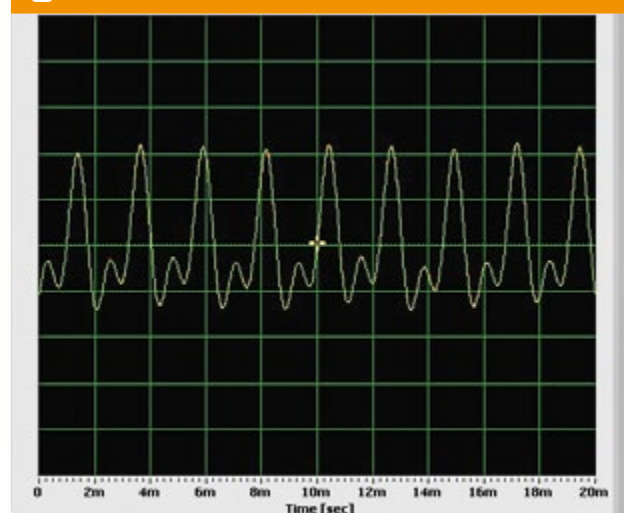
ABB.2 Screenshot: Sound Spectrum Analyzer



Schüler startet dabei die Aufnahme über die App, mit dem Smartphone etwa einen Meter vom Instrument entfernt. Nach einigen Sekunden wird die Aufnahme gestoppt und die Datei oder ein Screenshot gespeichert.

- ▶ Die Schüler sollten jedes aufgenommene Spektrum in einer Datei mit einem aussagekräftigen Namen speichern, so dass sie die Note und das Instrument später wiedererkennen.
- ▶ Da die Schüler wahrscheinlich unterschiedliche Apps und Smartphones nutzen, sollte für jedes Spektrum eine gemeinsame Referenz verwendet werden, unabhängig von der Empfindlichkeit des Mikrofons im Smartphone und der zeitlichen Auflösung der App. Wir haben die Freeware Sound Card Oscilloscope SW, Scope 1.41, genutzt. Zu ihren Funktionen gehört ein gutes Spektrumsanalysefenster, das sich hervorragend für den Unterricht eignet.

ABB.3 Tonwellen einer Flöte



- ▶ Nach der Aufnahme der Spektren für jede Note und jedes einzelne Instrument sollen die Schüler die erzeugten Graphen analysieren und alle Frequenzspektren aller Instrumente vergleichen. Eine Tabelle ähnlich wie in ABB. 4 kann ihnen helfen, Unterschiede und Analogien zu analysieren.



ABB.4 Eine Tabelle kann helfen, Unterschiede und Analogien zu analysieren

Instrument	Note			
	C4	F4	G4	A4/440
Gitarre (akustisch)				
Gitarre (elektrisch)				
Violine				
Klarinette				

- ▶ Vor Beendigung der Aufnahmephase können die Schüler noch das Spektrum einer Stimmgabel, elektronisch gespielter Noten (es gibt zahlreiche Softwareprogramme für PC und Smartphone, die Töne erzeugen) sowie derselben Noten mit der Stimme des besten Sängers unter ihnen aufnehmen.
- ▶ Jetzt können die Spektren des Orchesters untersucht werden. Es ist sehr interessant, die Graphen der Saiteninstrumente (Gitarre, Geige), der Holzbläser (Klarinette, Flöte), der Blechbläser (Trompete, Horn) und der Schlaginstrumente zu untersuchen und Analogien und Unterschiede zu finden.

Auf den ersten Blick sieht man bei jedem Instrument auffällige Spitzen im Spektrum. Dies sind die Amplituden (y-Achse) der Frequenzen (x-Achse), aus denen die harmonische Reihe der gespielten Note besteht. Die niedrige Frequenz ist normalerweise der Grundton und die Note, die auch gespielt wurde. Man stellt außerdem fest, dass eine Stimmgabel eine perfekte Linie im Diagramm erzeugt, wohingegen die menschliche Stimme, egal wie scharf sie ist, eine komplexere Linie erzeugt. Diese Linie ist die Summe aller Frequenzen, die die Stimme des Schülers erzeugt.

Wir schlagen vor, den Schülern zu diesem Zeitpunkt eine Aufgabe mittels entdeckendem Lernen vorzustellen, um sie in die Spektrumsanalyse einzuführen. Diese sollte auf einem Fragebogen mit folgenden Fragen basieren:

- ▶ Beschreibe, was auf dem Bild zu sehen ist.
- ▶ Warum glaubst du, dass manche Frequenzen auffälliger sind als andere?
- ▶ Kannst du eine Abhängigkeit oder eine Beziehung zwischen den auffälligen Frequenzen erkennen?
- ▶ Kannst du die Abhängigkeit erklären?

Weitere Aufgaben:

1. Untersuchung der mathematischen Konstruktion der temperierten Tonleiter und Ableitung der Tonhöhe eines Instruments.
 - ▶ Die Schüler sollten ein Protokoll vorschlagen, um die Beziehungen zwischen den verschiedenen Noten der temperierten Tonleiter zu prüfen. In verschiedenen Dokumenten finden sie die richtige Formel.
 - ▶ Dann werden sie gebeten, eine lineare Beziehung zwischen der Höhe einer von vier Noten der Tonleiter und der Nummer n dieser Note in der Bandbreite zu finden. Dazu kann eine Tabelle mit der Nummer der Note erstellt werden.
 - ▶ Dann nehmen sie nach dem Herunterladen der mobilen App verschiedene Töne einer Stimpfpfeife auf. Sie können die Tonhöhe aus dem erhaltenen Spektrum ableiten.
 - ▶ Zuletzt zeichnen sie einen Graphen zur Beziehung zwischen $\log(f_n)$ und der Nummer n der Noten in der temperierten Tonleiter. Sie sollten eine affine Funktion mit dem Leitkoeffizienten $\log(a)$ erhalten. Dann können sie den Wert mit dem theoretischen Wert vergleichen.
2. Entdeckung, dass die Tonhöhe einer Panflöte umgekehrt proportional zur Länge des jeweiligen Rohrs ist.
 - ▶ Die Schüler sollen die theoretische Beziehung zwischen der Höhe des erzeugten Tons und der Länge des Rohrs der Panflöte herausfinden.
 - ▶ Dann sollen sie ein Protokoll zur Prüfung dieser Beziehung vorschlagen, bei dem die Panflöte, der Spektrumsanalysator auf dem Smartphone und eine Tabelle für den Graphen verwendet werden. Zuletzt setzen sie ihr Protokoll selbst um.
3. Betonung der Tatsache, dass die Tonhöhe einer Note auf dem Xylophon proportional zur Länge des jeweiligen Klangstabs ist.
 - ▶ Die Schüler schlagen ein experimentelles Protokoll vor, mit dem der Einfluss der Länge des kleinen Stabs auf die Tonfrequenz überprüft werden kann. Dieses Protokoll



muss den Plan eines Graphen mit einer Modelldarstellung enthalten.

- Dann sollen die Schüler ihr Protokoll umsetzen.

4 | Option zur Kooperation

Schüler aus verschiedenen Schulen können zusammenarbeiten und so die Spektren verschiedener Instrumente analysieren. Sie können auch dieselben Instrumente analysieren und ihre Ergebnisse vergleichen. Eine weitere Idee wäre, dass verschiedene Schulen sich auf verschiedene Instrumententypen konzentrieren könnten, d. h. eine Schule analysiert Holzblasinstrumente und eine Blechblasinstrumente. Anschließend kann man die Spektren vergleichen und Unterschiede und Analogien herausarbeiten.

Sollte es in der Gegend eine Instrumentenwerkstatt geben, könnte man die Spektren der Instrumente direkt an ihrem Entstehungsort messen. In Italien gibt es beispielsweise dank der Stradivari-Tradition ein Geigenbauzentrum um Cremona. Probespektren können in verschiedenen Stadien des Instrumentenbaus genommen werden, so dass die Schüler verstehen, wie die Bauteile das Spektrum und die erzeugten Tonwellen beeinflussen.

5 | Fazit

Die Schüler können lernen, die komplexe Welt periodischer Ereignisse und Wellenlängenphänomene zu verstehen, indem sie den einfachsten und sichtbarsten Teilbereich untersuchen: die Akustik. Das Projekt zeigt insbesondere auf, in welcher Form ein Klang aus verschiedenen Frequenzen besteht und wie verschiedene Frequenzen sich zu einem Klang zusammensetzen lassen. Die Schüler lernen das Know-how, das zur Analyse eines Klangspektrums notwendig ist, erkennen die Tonwellen einer Note und verstehen, wie die Amplitude mit der Frequenz zusammenhängt. Danach können sie auch ein Lichtspektrum oder ein elektromagnetisches Spektrum analysieren. Das Projekt soll jüngere Schüler auch dazu motivieren, die Erzeugung von Klängen durch unterschiedliche Instrumente zu erforschen – die unterschiedliche Tonwellenentstehung in Holzblas-, Blechblas- und Saiteninstrumenten sowie die Resonanz bei Saiten im Vergleich zu Rohren.

Persönliche Erfahrung

Wenn man damit beginnt, mit den Schülern eine Welle in der Zeitdimension zu untersuchen, zeigt man ihnen eine einfache Sinuskurve. In der Frequenzdimension könnten sie dann auf Schwierigkeiten stoßen, da sie nur Linien sehen. Die Schüler sollten dazu Logarithmen verstehen: Die Amplitude (Druck oder Energie) wird immer auf der y-Achse in Dezibel ausgedrückt, also sollten sie die Dezibelskala lesen können. Die

Schüler müssen den Gebrauch von Apps üben, um Tonwellen erkennen zu können und diese als Vielfache der Grundfrequenz zu verstehen. Normalerweise wird zusammen mit den Noten auch ein Hintergrundgeräusch aufgenommen, wenn man nicht im Tonstudio arbeitet, so dass die Schüler die Fähigkeit haben müssen, diesen Hintergrundbereich zu erkennen und auszublenden. Außerdem bieten die meisten Premium-Apps auch die Möglichkeit, ein Spektrum als Datei zu speichern, aber in einer kostenlosen App-Version müssen die Schüler einen Screenshot vom Graphen machen, was zu Umsetzungsproblemen führen könnte.

Da nicht alle Apps aus der Liste die Option anbieten, das Spektrum als Datei zu speichern, zumindest nicht in der kostenlosen Version, muss ein anderer Schüler dem Spieler des Instruments helfen, einen Screenshot der Daten zu erstellen. Die erzielten Graphen werden normalerweise als Bild untersucht.

Das Spektrum des Oszilloskops auf einem PC ist als gemeinsame Referenz für alle Apps stets nützlich.

Sie sollten den Schülern auch erklären, was die Tonwellen, die Tonhöhe, die Lautstärke und das Timbre einer Note sind.

Wenn Sie (für die E-Gitarre oder das Keyboard) einen Verstärker verwenden, dann müssen Sie daran denken, dass dieser wie ein Filter wirken kann und einige der Tonwellen, Lautstärken oder Basselemente herausnimmt.

Bitte beachten Sie, dass das Spektrum unerwünschte Geräusche enthalten kann. Insbesondere bei starker elektrischer Aktivität in der Nähe kann das Spektrum eine 50-Hz-Frequenz enthalten. Dies ist die Frequenz von (europäischem) Netzstrom, der zu akustischer Verzerrung führen kann.

Wir haben nach einer Einführung in die Themen Wellen und Klang mit diesem Projekt angefangen. Es kam vor allem bei Schülern, die selbst ein Instrument spielen, sehr gut an.







Lärmbelastung



Maria Dobkowska · Dionysis Konstantinou · Marco Nicolini
Anna Maria Pavlou · Volker Smit



1 | Zusammenfassung

Es geht um die Erstellung einer Lärmkarte des Schulumfeldes, basierend auf den Messungen der Schüler und dem Austausch der Ergebnisse zwischen Schülern aus verschiedenen Ländern.¹

- ▶ **Stichwörter:** Lärmbelastung, Akustik, Dezibel, Klang, Kraft, Druck, Energie und Druck von Klängen, Amplitude, Oszillation, Resonanz, Wellen, Gleichungskurven, Dezibelskala, Logarithmen, Dateimanagement, Tabelle, Kurven, Gesundheit, Ohr und Gehör, Stressphysiologie, Resonanz am menschlichen Körper, Karten im kleinen Maßstab, GPS-Punkte zur Kartenerstellung
- ▶ **Fächer:** Umweltwissenschaft, Physik, Mathematik, Informations- und Kommunikationstechnologien, Biologie, Geografie
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 12–19 Jahre
- ▶ **Altersgruppe 12–14:** Umfrage, Messung von Geräuschpegeln, qualitative Analyse, Erstellung von Kurven im Hinblick auf das Gesundheitsproblem
- ▶ **Altersgruppe 15–19:** Umfrage, Messung von Geräuschpegeln, qualitative und quantitative Analyse, Erstellung von Kurven, Besprechung von Lärm im Zusammenhang mit physiologischem Stress und Wohlbefinden (Gesundheitsproblematik)
- ▶ **Android-Apps:** Decibel Meter, Sound Meter
- ▶ **iOS-Apps:** Decibel Ultra

2 | Vorstellung des Konzepts

Dieses Projekt gehört zum Bereich der Umweltwissenschaften, denn Lärmpegel und Lärmbelastung sind Eigenschaften der Umwelt. Das Ziel ist es, Schüler für die Qualität der Umgebung ihrer Schule im Hinblick auf den Lärmpegel zu sensibilisieren. Das Projekt soll experimenteller Natur sein, so dass die Schüler verschiedene Ansätze testen können und ihnen u. a. die Gelegenheit zu forschend-entdeckendem Lernen geben.² Die Schüler müssen planen, wie sie bei ihrer Forschung vorgehen möchten und die Methode formulieren, nach der sie eine geografische Karte der Lärmpegel in der Umgebung ihrer Schule erstellen wollen. Sie müssen verstehen, wie man Lärm misst und wie einfach Lärm mit einem Mikrofon und einer App gemessen werden kann. Während des Arbeitsprozesses kommen den Schülern automatisch Konzepte aus den Bereichen Physik, Biologie, Mathematik, Geografie und Informations- und Kommunikationstechnik in den Sinn, die sie dann je nach Vorgehensweise, Aufgabe und Fragestellung besprechen. Wenn Ergebnisse verschiedener Schulen verglichen werden sollen, müssen die Messmethoden identisch oder zumindest sehr ähnlich sein.

2 | 1 Die Wissenschaft dahinter: Lärmbelastung und ihre Auswirkungen

Lärmbelastung ist ein großes Problem in der modernen Gesellschaft. Sie wirkt sich stark auf die Gesundheit fast jedes Menschen aus. Heutzutage können wir keine perfekte Ruhe

ABB.1-3 Screenshots: Decibel Meter, Decibel Ultra, Sound Meter



mehr erfahren, es sei denn, wir begeben uns in einen schallichten Raum oder (bei Windstille) in die Wüste. Wenn man in der Stadt lebt, hat man sich an den Hintergrundlärm rund um die Uhr gewöhnt. Unsere Ohren sind daran gewöhnt. Unsere Ohren sind aber empfindlich und wir sollten sie nicht überstrapazieren. Junge Menschen ignorieren oft die Gefahren für ihre Ohren. Konzerte, Freizeitparks und Partys sind Orte und Veranstaltungen, wo Lärm gefährliche Ausmaße annehmen kann. In diesen Situationen gibt es auch keine Lärmspitzen – die Lärmbelastung ist konstant hoch.

Darüber hinaus bringen unsere Schulen als Arbeits- und Lebensumfeld viele weitere akustische Belastungen mit sich, die kurz- und langfristige chronische Gesundheitsschäden bei Lehrern und Schülern verschärfen können.

Unser Ziel bei diesem Projekt ist es, endlich die gesamte Schulgemeinschaft auf das Lärmproblem aufmerksam zu machen. Da die Schüler der Hauptfaktor bei der Lärmbelastung sind, könnten sie auch zur Lösung des Problems beitragen.

Schüler gehen mindestens fünf Tage die Woche in die Schule und verbringen dort viel Zeit in Klassenzimmern und Pausenbereichen. Deshalb sollte der Lärmpegel in den verschiedenen Schulbereichen besonders unter die Lupe genommen werden. Die hier beschriebene Lehreinheit ermutigt Schüler dazu, Lärm- bzw. Schallpegel zu messen und zeigt ihnen einfache und kostenlose Hilfsmittel zur Überprüfung der akustischen Umwelt. In den letzten 20 Jahren ist das Thema Gesundheit an Schulen immer wichtiger geworden. Die EU hat zum Thema Lärmbelastung gemeinsame europäische Gesetze vorgelegt (<http://ec.europa.eu/environment/noise/home.htm>, letzte Aktualisierung: 22.08.2014). Lärm gehört zu den Parametern, die ein gesundes Schulumfeld gewährleisten. Um eine Untersuchung der Lärmbelastung durchzuführen, sollten die jeweiligen Verantwortlichen für Gesundheit und Sicherheit in den Schulen um Unterstützung für die Durchführung gebeten werden.

2 | Bezug zum Lehrplan

Dieses Projekt kann auf viele verschiedene Arten in die unterschiedlichen Themen im Lehrplan jedes Landes integriert werden. Die Lehrer werden schnell Verbindungen zum eigenen Fach und zu anderen Fächern erkennen und möglicherweise fächerübergreifende Aktivitäten erkennen. Im Folgenden finden Sie einige Ideen, wie unsere internationale Gruppe an diese Aufgabe herangehen und sie mit ihrem Lehrplan verbinden würde.

3 | Aufgabe der Schüler

Zu Beginn sollte das Thema Lärm kurz eingeführt werden (z. B. mit dem Bild eines Arbeiters mit Gehörschutz), damit die Schüler eine Verbindung zwischen Lärmbelastung und Gesundheit herstellen. Der Grad der Anleitung der Schüler sollte von der Gruppe und dem Alter der Schüler abhängen und genug Raum für entdeckendes Lernen lassen. Die Schüleraktivitäten könnten durch folgende Fragen unterstützt werden:

- ▶ Was siehst du während der Aufnahmezeit auf dem Smartphone?
- ▶ Gibt es einen Unterschied zwischen den Sequenzen, die am selben Ort zu unterschiedlichen Zeiten aufgenommen wurden?
- ▶ Kannst du eine Abhängigkeit oder einen Zusammenhang zwischen dem Geräuschpegel und den Geschehnissen um dich herum feststellen?
- ▶ Kannst du die Abhängigkeit erklären?
- ▶ Kannst du den Durchschnitt der aufgezeichneten Werte berechnen?
- ▶ Wie erklärst du den Durchschnittswert? Liegt er nahe am Spitzenwert? Liegt er nahe am niedrigsten Wert? Warum?
- ▶ Wie könntest du eine webbasierte Karte erstellen, die deine Daten enthält?
- ▶ Würdest du negative Auswirkungen auf die Gesundheit der Menschen erwarten, die diesem Lärmpegel ausgesetzt sind? Was findest du in anderen Untersuchungen [Literatur]?
- ▶ Was könnten die kurz- und langfristigen Folgen für den menschlichen Körper sein? Könnte man solche Folgen messen?
- ▶ Wie könntest du deine Ergebnisse auf der Schulversammlung vortragen?

Natürlich gibt es noch viel mehr Fragen. Welche haben Sie?

 ABB.4 Schüler, die ihre Smartphones kalibrieren



ABB.5 Beispiel für eine Schulkarte

Quelle: Hellenic Cadastre & Mapping Agency S.A., <http://www.ktimatologio.gr/sites/en/Pages/Default.aspx>


Schritte im praktischen Vorgehen:

- ▶ Lade die erforderliche App herunter und installiere sie.
- ▶ Kalibriere die App auf allen verwendeten Smartphones.

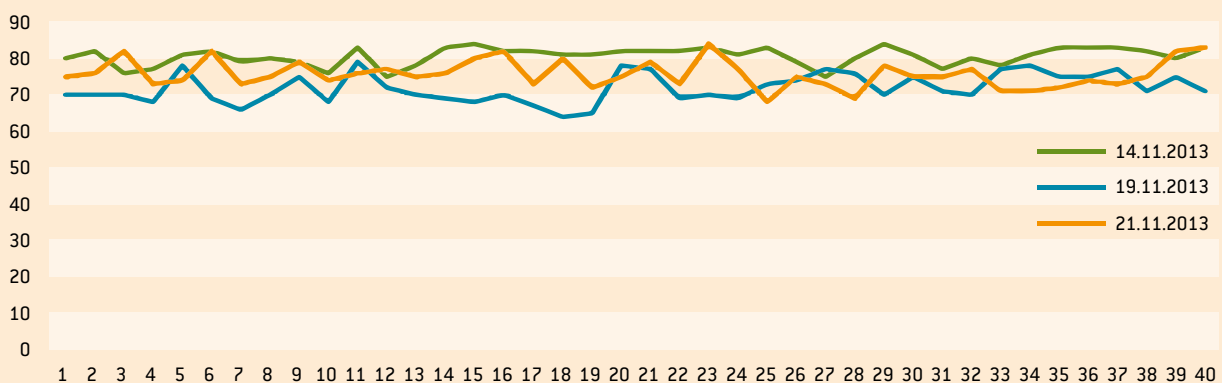
Um die Messungen innerhalb Ihrer Gruppe und zwischen verschiedenen Gruppen und verschiedenen Ländern vergleichen zu können, muss die App (iOS oder Android) auf allen Smartphones auf denselben Standard kalibriert werden. Diese Kalibrierung ist unerlässlich. Sie sollten das Problem der Kalibrierung in einer kurzen Einheit anschnitten, um die Probleme und die Bedeutung dieser Maßnahme zu erklären – wiederum je nach Altersgruppe. Die webbasierte Kalibrierung, die wir hier vorschlagen, hat den großen Vorteil, dass sie ortsunabhängig ist. Sie wurde vorgeschlagen von den Experten vom Institute of Environmental Protection des National Research Institute in Warschau, Polen. Für die Kalibrierung sind folgende Schritte durchzuführen:

- ▶ Finde einen ruhigen und friedlichen Ort (dies könnte der schwierigste Teil sein).

ABB.6 Schüler, die außerhalb des Schulbereichs Messungen vornehmen

ABB.7 Schüler, die im Klassenzimmer Messungen vornehmen


- ▶ Rufe das YouTube-Video „pink noise“ auf und nutze es als Referenz zum Kalibrieren aller Smartphones: <https://www.youtube.com/watch?v=fguGuABgm-Q>.
- ▶ Drehe die externen Lautsprecher am Computer maximal auf (Lautsprecherleistung 2–3 W).

ABB.8 Geräuschpegeldiagramm (X-Achse: Messpunkt, Y-Achse, dB)


- ▶ Finde heraus, wo sich das Mikrofon an deinem Smartphone befindet.
- ▶ Beginne mit der Messung dieses Geräuschs mit der App. Halte dabei 1 m Abstand zwischen Smartphone und Lautsprecher. Das Mikrofon ist zum Lautsprecher gerichtet.
- ▶ Dann sollte auf dem Smartphone-Display ein Wert von etwa 86 dB erscheinen (wenn mehr oder weniger, mit der „+/- Funktion“ der App das Mikrofon des Geräts kalibrieren).
- ▶ Wähle die Messpunkte innerhalb der Schule und/oder in der Umgebung aus.³
- ▶ Entwirf ein Protokoll und nutze es zum Notieren der Messungen.
- ▶ Einigt euch auf ein Aufnahmeverfahren innerhalb der Klasse oder des Projekts, z. B. Aufnahmeintervalle, kontinuierliche Aufnahme mit Durchschnittswerten etc.
- ▶ Veranschauliche die Daten zur Präsentation in Kurven und/oder statistischen Analysen.
- ▶ Prüfe und vergleiche deine Ergebnisse mit der Literatur.
- ▶ Ziehe Schlussfolgerungen und mach Vorschläge für Veränderungen in eurem Schulumfeld.

4 | Option zur Kooperation

Ein internationaler Flashmob könnte zur selben Zeit am selben Tag organisiert werden, um die Aufmerksamkeit der Menschen auf das Problem der Lärmbelastung zu lenken und für eine gesündere Arbeitsatmosphäre in der Schule zu sorgen. Die Schüler könnten die Lärmerkennungs-App zusammen starten, ihr Smartphone hochhalten und den Geräuschpegel aufnehmen, um auf den starken Hintergrundlärm und dessen Auswirkungen auf die Gesundheit aufmerksam zu machen. Mit einiger Vorbereitung ist auch die Anwesenheit von Medien denkbar.

Ein Vergleich der in den verschiedenen Ländern erzielten Ergebnisse wäre möglich, wenn die Teilnehmer sich in vergleichbaren Lernstoffsituationen befinden.

Es wäre möglich, die Geräuschpegel im Zusammenhang mit den verschiedenen Gesetzen in den jeweiligen Ländern zu vergleichen. Welchem durchschnittlichen Lärmpegel kann man dem Gesetz nach ausgesetzt sein?

Schüler aus unterschiedlichen Schulen könnten Projektideen besprechen und Daten über Moodle, eTwinning oder andere soziale Medien teilen. Es gibt auch Apps, die Geräuschpegel mit Online-Karten wie NoiseWatch oder Geovibes verlinken.

Zuletzt könnten die Teilnehmer noch die Konsequenzen ihres Projekts diskutieren und künftige Aktivitäten vorschlagen. Es wäre besonders interessant, zu besprechen, wie die Lärmbelastung der Schüler im Schulumfeld verringert werden könnte.

5 | Fazit

5|1 Was sollten die Schüler aus dem Projekt lernen?

- ▶ Teilnahme an einer Schulumfrage
- ▶ Gruppenarbeit
- ▶ Sensibilisierung der Schulgemeinschaft zum Thema Lärmbelastung
- ▶ Anwendung und Gebrauch einer Smartphone-App in einem echten Schulprojekt (nicht nur zum Spaß, sondern mit Alltagsbezug)
- ▶ Verständnis für den Zusammenhang zwischen Lärmbelastung und unserer Gesundheit
- ▶ Möglicherweise sogar eine Idee zur Anregung politischer Veränderungen in einer Gemeinde

5|2 Persönliche Erfahrung

Der Lehrer sollte eine Art Einleitung geben, je nach Fach und Altersgruppe. Beispielsweise könnte man eine Einführung in die Grundlagen der akustischen Physik und der Klangverarbeitung im menschlichen Ohr geben. Das Beispielbild von einem Straßenarbeiter mit Presslufthammer und Gehörschutz könnte eine kontroverse Diskussion in Gang bringen. Einige glauben vielleicht, dass kein Gehörschutz nötig ist, da manche Arbeiter auch ganz ohne auskommen. Sobald die Schüler aber von der Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs erfahren, könnten sie doch zu dem Schluss kommen, dass ein Gehörschutz sinnvoll ist. Die folgenden Fragen helfen, das o. g. Bild mit der Schulsituation als Arbeitsumfeld für Schüler und Lehrer zu verknüpfen:

- ▶ Was sagt uns das Bild des Arbeiters über unser Leben im Schulumfeld?
- ▶ Hattest du schon einmal Kopfschmerzen? Wann hattest du sie?
- ▶ Was hältst du für die Ursache der Kopfschmerzen?
- ▶ Könntest du dir vorstellen, dass Lärm Kopfschmerzen verursachen kann?

Vor Beginn der Messungen war die Kalibrierung ein wichtiges Thema. Es gibt verschiedene Kalibrierungsmethoden. Zusätzlich zum o. g. Kalibrierungsverfahren kann man auch einen digitalen Schallpegelmesser verwenden, um alle Smartphones der Schüler zu kalibrieren. Wir gehen davon aus, dass unsere Ergebnisse eine recht gute Qualität haben.

Ein weiterer Aspekt, der zu erwähnen ist, ist die Geräuschverarbeitung. Jedes Gerät hat einen gewissen Schwellenwert in der Reaktionszeit. Außerdem ist diese Verarbeitungszeit zwischen verschiedenen Smartphones unterschiedlich (wahrscheinlich prozessorabhängig). Wir empfehlen, diesen Schwellenwert zu senken, indem man alle unnötigen Apps vor Beginn der Messung beendet.



Außerdem empfehlen wir, dass eine Projektgruppe dasselbe Aufnahme- und Messprotokoll verwenden sollte (z. B. alle 15 Sekunden ein Screenshot, Messung genau am gleichen Punkt, alle Smartphones gleich ausrichten). Mit manchen Apps kann man die gesamte Messung als Datei verschicken, z. B. per E-Mail oder soziale Medien. Normalerweise bleibt eine CSV-Datei für die weitere Verarbeitung auf dem Smartphone.

Für vergleichbare Studien zwischen unseren Schulen haben wir die Schüler angeleitet, um vergleichbare Ansätze zu haben.

Das Projekt wurde von den Schülern gut angenommen. Während der Arbeitsphase waren alle sehr eifrig bei der Sache, um alle möglichen Messungen durchzuführen. Sie fühlten sich besonders wichtig, da sie vom Lehrer unterschriebene Sondergenehmigungen bekommen hatten, um ihr Smartphone für die Messungen in der Schule und im Klassenzimmer zu benutzen.

Wenn man beginnt, Lärm in den höheren Klassen einer weiterführenden Schule zu messen, dann sollten vorher Logarithmen bekannt sein, damit die Schüler die Dezibelskala und die Abhängigkeit des wahrgenommenen Lärms vom erzeugten Lärm verstehen. Es ist auch hilfreich, den Schülern das Konzept *Zero Noise* vorzustellen und aufzuzeigen, wie wir ständig – rund um die Uhr – Hintergrundgeräuschen ausgesetzt sind.

Eine Einleitung zum menschlichen Hörspektrum und zur menschlichen Geräuschwahrnehmung, und wie diese durch Hintergrundgeräusche beeinträchtigt werden, ist ein guter Anfang für die Diskussion. Die Verknüpfung mit anderen Disziplinen wie Medizin und Recht wäre möglich. Eine Einführung zum logarithmischen Weber-Fechner-Gesetz zur menschlichen Wahrnehmung ist auch ein guter Einstieg.

Fußnoten

- 1 Da die Lärmquelle stärkeren Lärm verursacht, konzentrieren wir uns hier auf die Person, die den Lärm wahrnimmt, und nutzen die SI-Einheit dB bei der Aufnahme.
- 2 Forschend-entdeckendes Lernen betont konstruktivistische Lernvorstellungen, nach denen Wissen, insbesondere sozialbasiertes Wissen, aus Erfahrung und einem Prozess heraus entsteht. Basierend auf dieser Vorstellung lernt man am besten in Teamarbeit oder in Gruppen. Der Fortschritt und die Lernergebnisse werden allgemein danach beurteilt, wie gut die Schüler experimentelle und analytische Fähigkeiten entwickeln und oft auch danach, wie gut sie in Gruppen arbeiten [http://de.wikipedia.org/wiki/Entdeckendes_Lernen].
- 3 Einige Beispielorte, die man untersuchen könnte:
 - ▶ die Schulaula während der Pause
 - ▶ Korridor und Treppenhaus während der Pause
 - ▶ ein Klassenzimmer während des Unterrichts/in der Pause
 - ▶ Turnhalle
 - ▶ Schulkantine
 - ▶ Bibliothek
 - ▶ Schulhof während sportlicher Betätigung/bei Spielen
 - ▶ Straßen in der Nachbarschaft der Schule
 - ▶ Schwimmhalle.



Alle Vögel sind schon da

Untersuchung von Vogelgesang



Maria Dobkowska · Anna Maria Pavlou

Richard Spencer



1 | Zusammenfassung

Dieses Projekt zeigt auf, wie Schüler verschiedenste Fertigkeiten entwickeln können, indem sie mit ihrem Smartphone und kostenlosen Apps untersuchen, ob Lärmbelastung die Amplitude oder Frequenz von Vogelgesängen verändert.

- ▶ **Stichwörter:** Vogelgesang, Amplitude, Frequenz, Haussperling (*Passer domesticus*), Lärmbelastung, Stadt, Land
- ▶ **Fächer:** Biologie, Physik
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 16–18 Jahre (auch geeignet für die Altersgruppe 14–16)
- ▶ **Android-Apps:** iRig Recorder, FreequenSee, Sound Meter, UK Birds Sounds
- ▶ **iOS-Apps:** iRig Recorder, Decibel Meter, British Birds Lite
- ▶ **Zusätzliche Software:** Audacity® Freeware

2 | Vorstellung des Konzepts

Vögel singen zur Kommunikation. Männliche Singvögel singen insbesondere, um Weibchen anzulocken und männliche Konkurrenten abzuschrecken. Jede Singvogelart hat ihren ganz eigenen Gesang.

Mehrere Forschungsstudien, einschließlich Studien zu Amseln, Kohlmeisen, Singammern und Nachtigallen, sind zu dem Schluss gekommen, dass Singvögel in der Stadt durch die Lärmbelastung beeinträchtigt werden. Diese Studien deuten darauf hin, dass Singvögel die Lärmbelastung in der Stadt kompensieren. Um gehört zu werden, singen sie entweder mit einer höheren Amplitude (lauter) oder einer höheren Frequenz (höher) als ihre Artgenossen auf dem Land, wo die Lärmbelastung geringer ist.

Im Projekt „Alle Vögel sind schon da“ führen die Schüler mit dem Smartphone und kostenlosen Apps ihre eigenen Untersuchungen zur Auswirkung von Lärmbelastung auf den Vogelgesang durch.

3 | Aufgabe der Schüler

Untersucht wird, ob Lärmbelastung die Amplitude oder Frequenz von Vogelgesang ändert.

Vorstellung des konzeptuellen Hintergrunds und der verfügbaren Android/iOS-Apps sowie Erklärung, wie kostenlose Software (Audacity®) zur Analyse von Vogelgesang eingesetzt werden kann. Audacity® ist eine Open-Source- und Cross-Plattform-Software zur Aufnahme und Bearbeitung von Tonmaterial.

Die Schüler machen mit dem Smartphone und Apps vorläufige Aufnahmen an zwei Orten (einer in der Stadt, einer auf

dem Land), um eine geeignete Vogelart für die Studie sowie die Länge der Aufnahme zu bestimmen. Vogelarten lassen sich mit den Apps UK Birds Sounds (Android) oder British Birds Lite (iOS) am Gesang identifizieren. Die Apps Sound Meter (Android) oder Decibel Meter (iOS) können zur Aufnahme des Geräuschpegels in Dezibel verwendet werden. iRig Recorder (Android/iOS) kann zur Aufnahme von Vogelgesängen zur späteren Analyse mit Audacity® genutzt werden. FreequenSee ist eine alternative Aufnahme-App (Android).

Bei den vorangehenden Untersuchungen werden die Schüler daran erinnert, zu berücksichtigen, wie sie objektive Vergleiche zwischen Stadt und Land ziehen können. Die zu untersuchende Variable ist der Grad der Lärmbelastung. Alle anderen Variablen müssen so weit wie möglich kontrolliert werden, um einen objektiven Test zu gewährleisten. Es müssen ausreichend Aufnahmen an jedem Ort gemacht werden, damit die Daten verlässlich sind. Die Schüler informieren den Projektleiter über ihre vorläufigen Erkenntnisse und die zu kontrollierenden Variablen, sowie über die Bedeutung dieser Kontrolle.

Die Schüler erhalten die folgende Punkte als Anleitung und werden dazu aufgefordert, weitere Variablen, die sie nicht bedacht haben, einzubeziehen: Vogelart, Jahreszeit, Tageszeit, Wetterbedingungen, Art des Lebensraums, Abstand von den Vögeln bei der Aufnahme, Anzahl der gleichzeitig aufgenommenen Vögel (für Arten, die in Scharen auftreten), Anwesenheit anderer Singvogelarten während der Aufnahme.

Die Schüler passen ihre Methoden entsprechend an. Über einen Zeitraum von zwei Wochen machen sie zwanzig endgültige Aufnahmen an jedem Ort und analysieren die gesammelten Daten mit Audacity®. Die Schüler werten ihre Daten aus und ziehen Schlüsse zur Auswirkung der Lärmbelastung auf die Amplitude und Frequenz des Vogelgesangs.

ABB.1 Männliche Haussperlinge (*Passer domesticus*) zwitschern, um Partnerinnen anzulocken.

Quelle: wikipedia CCA, Adamo



ABB.2 Die Schüler nutzten Android-Apps zur Aufnahme von Lärmbelastung und Vogelgesang



Was die Schüler (im Beispielprojekt) gemacht haben

Die Schüler nutzten Android-Apps. Es wurden vorläufige Untersuchungen durchgeführt, um einen geeigneten Singvogel für die Studie zu identifizieren (mit UK Birds Sounds) und um zwei unterschiedliche Orte mit signifikant unterschiedlichen Graden der Lärmbelastung zu finden (mit Sound Meter). Die gewählten Vogelarten müssen an beiden Orten in etwa gleicher Zahl zu finden sein.

Die Schüler entschieden sich für den Gesang von Haussperlingen (Spatzen). Sie arbeiteten zu zweit an der Aufnahme männlicher Spatzen (ABB. 1) an zwei verschiedenen Orten – einer Weißdornhecke neben einer stark befahrenen Hauptstraße in der Stadt (ABB. 2) und einer Weißdornhecke an einem Feldweg auf dem Land (ABB. 3). Die Aufnahmen wurden mit einem Abstand von 1,5 Metern von der Hecke gemacht. Ein Schüler nahm mit Sound Meter die Amplitude des Hintergrundlärms (in Dezibel) auf und der zweite Schüler nahm den Vogelgesang mit iRig Recorder auf.

ABB.3 Eine Weißdornhecke bietet den Spatzen Unterschlupf



An jedem Ort (in der Stadt und auf dem Land) wurden etwa zur selben Tageszeit (14:00–16:00 Uhr) und Jahreszeit (erste zwei Märzwochen 2014) an Tagen mit ähnlichen Wetterbedingungen zwanzig iRig- und Sound-Meter-Aufnahmen gemacht. Nur Schwärme mit ähnlichen Vogelanzahlen wurden aufgenommen (etwa zehn Vögel). Jede Aufnahme dauerte eine Minute. Der mittlere mit Sound Meter aufgenommene Geräuschpegel betrug auf dem Land 43 dB und in der Stadt 70 dB. Die iRig-Aufnahmen wurden in Audacity® geladen und als Spektrogramme dargestellt (ABB. 4 und 5).

Die Schüler stellten fest, dass bei den Aufnahmen in der Stadt die höchsten Frequenzen durch Straßenverkehr hervorgerufen wurden. Anhand einer Auswahl von zehn Aufnahmen wollten die Schüler untersuchen, ob die Spatzen an den beiden Orten im Durchschnitt unterschiedlich oft pfliffen. Sie ermittelten mit den Audacity®-Aufnahmen, wie oft die Spatzen auf dem Land innerhalb von 10-Sekunden-Intervallen und 20- bis 30-Sekunden-Intervallen und in der Stadt (bei Straßenverkehr) innerhalb von 10-Sekunden-Intervallen pfliffen (ABB. 6). Dabei fanden sie heraus, dass die durchschnittliche Anzahl der Pfliffe

ABB.4 Ein Beispiel für eine iRig-Aufnahme auf dem Land, importiert in Audacity®

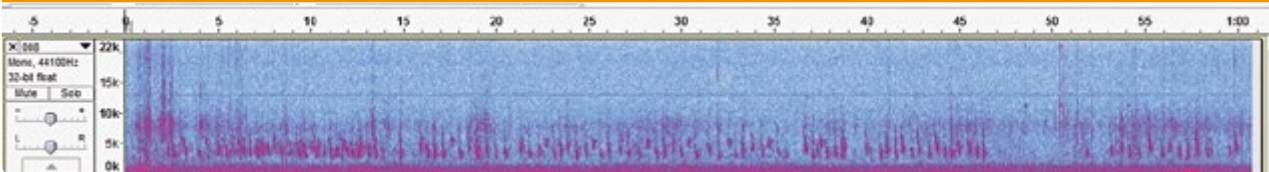


ABB.5 Ein Beispiel für eine iRig-Aufnahme in der Stadt, importiert in Audacity®

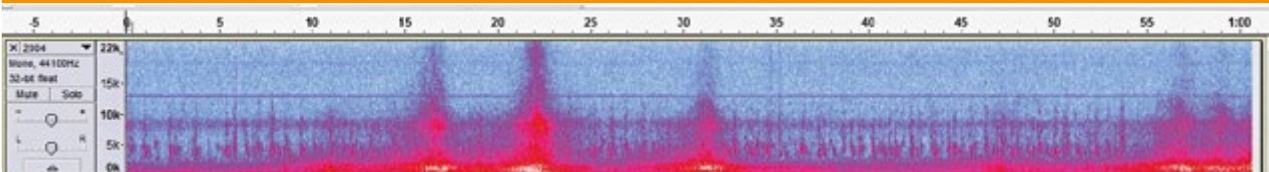
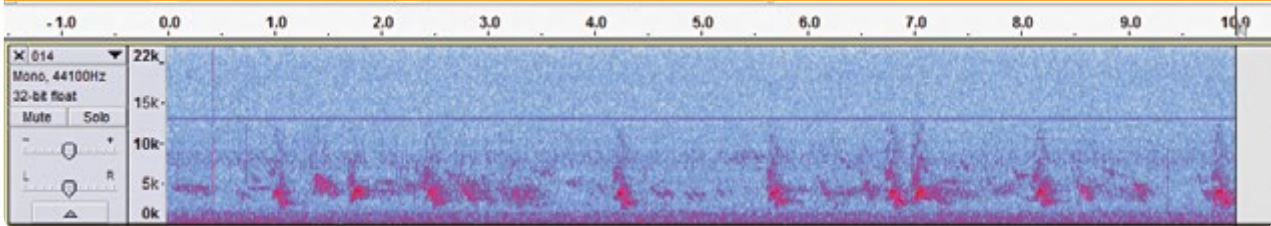


ABB.6 Zehn Sekunden Gezwitscher des Haussperlings (*Passer domesticus*) (typische Aufnahme)



an beiden Orten stark variierte (zwischen 5 und 20), dass aber die Durchschnittszahl in 10 Sekunden an zehn Stellen jedes Ortes bemerkenswert ähnlich war (die Spatzen piffen etwa 13 Mal in 10 Sekunden).

Die Schüler schlossen daraus, dass es keine Hinweise darauf gibt, dass die Spatzen in der Stadt und auf dem Land mit einer unterschiedlichen Frequenz (in Hertz), Amplitude (in Dezibel) oder Häufigkeit (Pfiße pro Sekunde) zwitscherten. Sie schlossen weiter, dass die zwischenzeitliche Lärmbelastung durch den Straßenverkehr eine viel höhere Frequenz und Amplitude hat als das Zwitschern der Spatzen. Würden die Vögel versuchen, dagegen anzuzwitschern, so wäre dies nicht nur erfolglos, sondern auch Energieverschwendung.

4 | Option zur Kooperation

Passer domesticus (der Haussperling oder Spatz) ist die am weitesten verbreitete Wildvogelart. Die Art ist in Europa und weiten Teilen Asiens heimisch. Durch den Menschen wurde sie auch in Australien, Afrika sowie Nord- und Südamerika eingeführt, sei es beabsichtigt oder unbeabsichtigt. Deshalb ist der Vogel ein ideales Studienobjekt zum Vergleich von Daten zur selben Art in verschiedenen Ländern, was spannende Möglichkeiten für internationale Vergleiche und Projekterweiterungen eröffnet. Alternativ könnte das allgemeine Protokoll auf beliebige andere Singvogelarten angepasst werden.

5 | Fazit

Mit einer einfachen Aufgabe für die Schüler (die Auswirkung der Lärmbelastung auf die Amplitude und Frequenz von Vogelgesang zu untersuchen) entwickelten die Schüler mit Hilfe des Smartphones und kostenlosen Apps eine Reihe an Forschungsfertigkeiten. Die Schüler lernten aus der Teilnahme an diesem Projekt Folgendes:

- ▶ Erfahrung des Sammelns „echter“ Daten in der Feldforschung mit dem Smartphone als Hilfsmittel.
- ▶ Erkenntnis der Bedeutung der Variablenkontrolle für einen objektiven Test bei der Datensammlung zum Vergleich zwei verschiedener Situationen (in diesem Fall zum objektiven Vergleich des Gezwitschers von Spatzen in der Stadt und auf dem Land).

- ▶ Entscheidungsfindungskompetenz in der Planung eines experimentellen Versuchsaufbaus und in der Datensammlung.
- ▶ Entscheidungsfindungskompetenz in der Analyse und Auswertung von Daten.
- ▶ Verständnis für das versuchsweise Vorgehen in der Wissenschaft (siehe „Persönliche Erfahrung“).
- ▶ Wissen, wie man Vögel am Gesang erkennt.
- ▶ Bessere Kenntnis der örtlichen Umwelt und ihrer Bewohner.
- ▶ Ein breiteres Interesse an der Erforschung von Vogelarten und an Umweltthemen.

Persönliche Erfahrung

Bevor die Schüler mit den Feldversuchen anfangen, muss eine angemessene Risikobewertung erfolgen (Beispiel auf www.science-on-stage.de/istage2-downloads).

Nachdem sie den aktuellen Forschungsstand zur Auswirkung von Lärm auf Vogelgesang kennengelernt haben, könnten die Schüler enttäuscht sein, wenn ihre Ergebnisse nicht mit denen anderer Forscher übereinstimmen. Dies ist jedoch eine hervorragende Gelegenheit zur Besprechung des versuchsweisen Vorgehens in der Wissenschaft und ermöglicht eine Diskussion über den Grund für die Abweichung von den veröffentlichten Ergebnissen. Beispielsweise sollten die Schüler die Auswirkung verschiedener Arten von Lärmbelastung bedenken (im Hinblick auf Amplitude und Frequenz) sowie die Tatsache, dass Forschungsergebnisse zu einer Vogelart nicht unbedingt auf eine andere übertragbar sind. Sie können herausfinden, inwiefern die Datensammlung für veröffentlichte Studien vielleicht besser durchdacht war.

Kolleginnen aus Zypern (Anna Maria Pavlou) und Polen (Maria Dobkowska) haben vorläufige Aufnahmen getestet und sinnvolle Vorschläge für künftige Untersuchungen gemacht. Die untersuchten Vogelarten müssen sorgfältig ausgewählt werden, da manche Arten sehr scheu auf Menschen reagieren und wegfliegen, wenn sich die Schüler für die Aufnahmen nicht sehr leise nähern oder verstecken. Die Tonqualität lässt sich durch Anbringung eines kostengünstigen Richtmikrofons mit Verlängerungsarm am Smartphone verbessern.

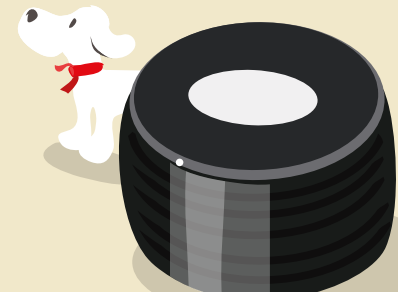




Erstaunlich schnell



Pere Compte · Immacolata Ercolino · Philippe Jeanjacquot
Dionysis Konstantinou · Emmanuel Thibault



1 | Zusammenfassung

Die Schüler müssen die Geschwindigkeit eines Objekts mit Hilfe des Doppler-Effekts messen. Bei diesem Projekt wird die Audio- oder Videoaufnahme vom Geräusch eines fahrenden Autos verwendet.

- ▶ **Stichwörter:** Doppler-Effekt, Fahrzeug, Geschwindigkeit, Geräusch
- ▶ **Fächer:** Physik, Mathematik
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 17–18 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Sound Spectrum Analyzer (SSA)
- ▶ **iOS-Apps:** iAnalyzer lite
- ▶ **Sonstige benötigte Ausstattung:** Kamera zur Aufnahme einer Videodatei, Diktiergerät oder Audiorekorder zur Aufnahme einer Audiodatei, Signalgenerator für die Zusatzaufgabe

2 | Vorstellung des Konzepts

Ziel ist es, die Geschwindigkeit eines Fahrzeugs durch die Aufnahme des entstandenen Geräuschs beim Vorbeifahren an einem Mikrophon (z. B. dem Mikrophon eines Smartphones) zu messen. Die Messung erfolgt mit Hilfe einer Spektrumsanalyse-App auf dem Smartphone.

Erforderliche Fertigkeiten:

- ▶ Aufbau eines Experiments zur Messung der Geschwindigkeit mit Hilfe des Doppler-Effekts.
- ▶ Nutzung der relativen Frequenzveränderung bei geringer Geschwindigkeit.
- ▶ Nutzung von spektralen Daten und Bildbearbeitungssoftware zur Illustration der Anwendung des Doppler-Effekts als Untersuchungsmethode in der Astrophysik.

Vorausgesetztes Wissen:

- ▶ Doppler-Effekt – Die Veränderung der wahrgenommenen Frequenz, wenn sich die Geräuschquelle in Richtung des Beobachters und von ihm wegbewegt.

3 | Aufgabe der Schüler

Das Projekt ist in drei Teile unterteilt:

- ▶ Als Hausaufgabe: Die Schüler nehmen das Geräusch eines Autos oder eines anderen Fahrzeugs mit dem Smartphone auf.
- ▶ In der Klasse: Sie erklären, was der Doppler-Effekt ist.
- ▶ Mit dem Smartphone: Sie messen und analysieren das Geräusch und ermitteln so die Geschwindigkeit des Autos.

3 | 1 Aufnahme des Geräuschs eines Fahrzeugs

In der ersten Phase muss das [hupende] Fahrzeug sich auf das Mikrophon zubewegen, in der zweiten Phase muss es sich davon wegbewegen. Während das Geräusch aufgenommen

wird, fährt das Fahrzeug bei konstanter Geschwindigkeit in gerader Linie.

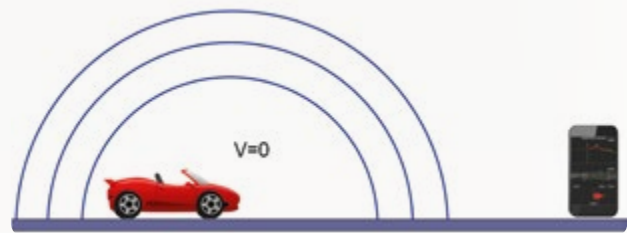
Für die Aufnahme wird entweder die Kamera-App für Videos oder die Diktiergerät- oder Audiorekorder-App zur Aufnahme des Geräuschs allein verwendet.

Während der Aufnahme ist es am besten, stillzustehen und einfach nur das Smartphone in Richtung Auto zu halten. Das Auto sollte an einem ruhigen Ort ohne Störgeräusche aufgenommen werden.

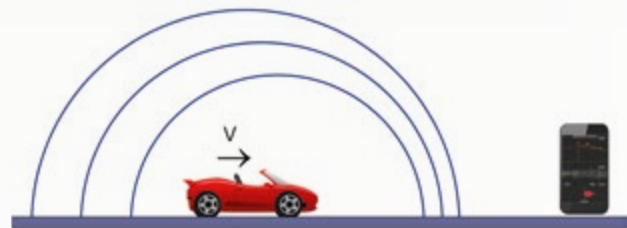
3 | 2 Was ist der Doppler-Effekt?

Höre die Aufnahme an und erkläre, welche Eigenschaft des Tons sich verändert. In der Erklärung sollte zwischen den beiden Phasen der Aufnahme unterschieden werden. Die Veränderung ist das Ergebnis des Doppler-Effekts. Wenn das Fahrzeug hupt, dann hat das Klangspektrum Frequenzspitzen. Wähle eine Spitze mit sehr klarer Abgrenzung aus.

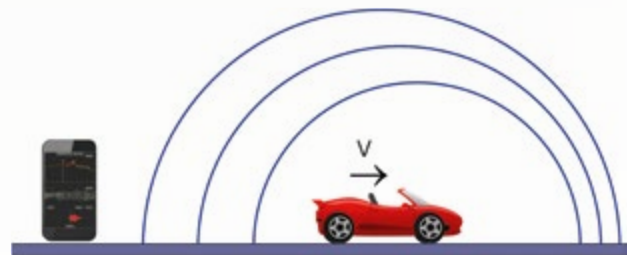
Steht das Fahrzeug still, ist die Frequenz $f_{(0)}$.



Fährt das Fahrzeug in Richtung des Mikrofons, ist der Ton des Geräuschs höher, die Frequenz erhöht sich auf $f_{(1)}$.



Fährt das Fahrzeug vom Mikrophon weg, ist der Ton des Geräuschs tiefer, die Frequenz verringert sich auf $f_{(2)}$.



Dasselbe Phänomen ist zu beobachten, wenn das Fahrzeug stillsteht und das Mikrofon sich bewegt.

Die Formeln:

$$f_{(1)} = f_{(0)} \frac{V_{\text{sound}}}{V_{\text{sound}} - V_{\text{vehicle}}}$$

$$f_{(2)} = f_{(0)} \frac{V_{\text{sound}}}{V_{\text{sound}} + V_{\text{vehicle}}}$$

3 | 3 | Messung und Analyse der Frequenz des Geräuschs

Dafür sind zwei Smartphones notwendig. Eines überträgt das Geräusch des Fahrzeugs und das andere ermittelt das Klangspektrum. Im ersten Teil der aufgenommenen Audiodatei

bewegt sich das Fahrzeug auf das Mikrofon zu, im zweiten Teil bewegt es sich davon weg. Während das Geräusch aufgenommen wird, fährt das Fahrzeug in gerader Linie bei konstanter Geschwindigkeit.

3 | 3 | 1 Mit Android (ABB. 1):

- ▶ Stell dich vor den Lautsprecher des Smartphones.
- ▶ Starte den Sound Spectrum Analyzer auf dem anderen Smartphone.
- ▶ Öffne das Menü der App. Und spiele die Datei ab.
- ▶ Nach einer oder zwei Sekunden startest du schnell die Analyse mit dem Sound Spectrum Analyzer (im Menü).
- ▶ Gehe im Menü des Sound Spectrum Analyzers auf die x-Achse und wähle log Scale aus. Dasselbe für die y-Achse wiederholen.
- ▶ Bewege mit dem Finger den Cursor auf die erste Spitze (1 im Screenshot).
- ▶ Lies die Frequenz rechts oben am Bildschirm ab (2 im Screenshot).
- ▶ Nach Erfassung der ersten Frequenz die zweite messen.
- ▶ Zur Bestimmung der zweiten Frequenz ebenso wie bei der ersten vorgehen, mit dem einzigen Unterschied, dass die SSA-Analyse kurz vor Ende der Audiodatei wieder gestartet wird.

3 | 3 | 2 Mit iOS (ABB. 2):

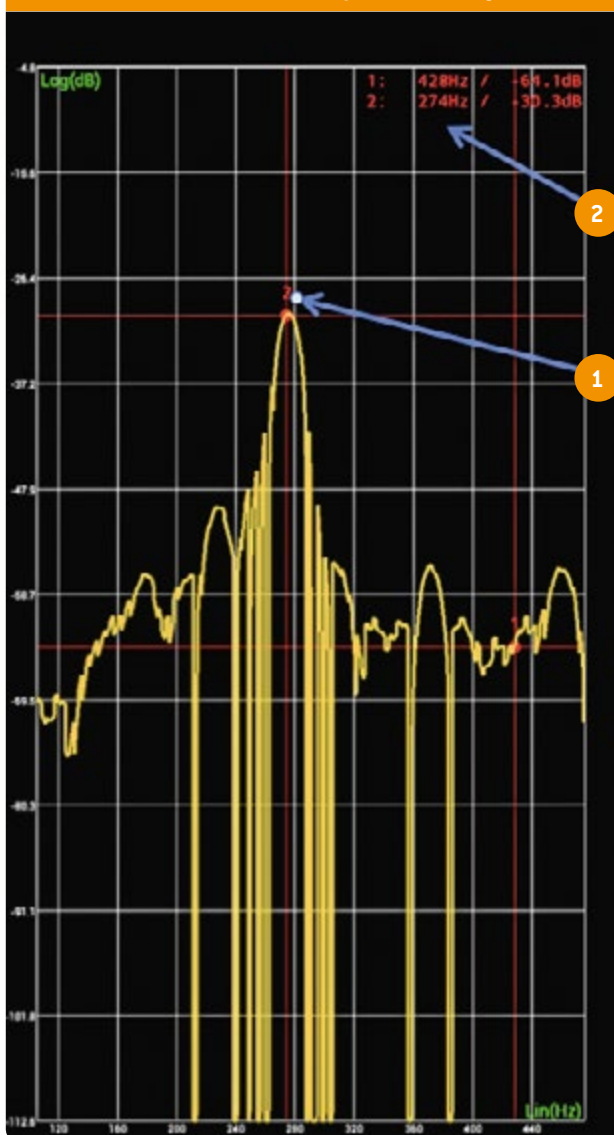
- ▶ Stell dich vor den Lautsprecher.
- ▶ Starte iAnalyzer lite in iOS.
- ▶ Starte die Aufnahme.
- ▶ Spiele die Audiodatei ab.
- ▶ Stoppe die Aufnahme, wenn die Audiodatei fertig abgespielt ist.
- ▶ Die Aufnahme des Geräuschs wird im unteren Teil des Displays angezeigt.
- ▶ Scrolle mit dem Finger über die Audiodatei (1 im Screenshot).
- ▶ Das Spektrum wird im oberen Teil des Displays angezeigt.
- ▶ Scrolle auf dem Display, um die Tonfrequenz zu messen (2 im Screenshot).
- ▶ Wähle eine Frequenzspitze aus.
- ▶ Miss die Frequenz (3 im Screenshot) dieser Spitze zu Beginn (Frequenz 1) und zum Ende (Frequenz 2) der Aufnahme.

3 | 3 | 3 Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs wird mit folgender Formel berechnet:

$$V_{\text{vehicle}} = V_{\text{sound}} \cdot \frac{f_{(1)} - f_{(2)}}{f_{(1)} + f_{(2)}}$$

$v=340$ m/s ist die Schallgeschwindigkeit, $f_{(1)}$ ist die erste Frequenz, $f_{(2)}$ ist die zweite Frequenz.

ABB.1 Screenshot: Sound Spectrum Analyzer





3 | 3 | 4 Weiterführung

Diese Formel lässt sich durch Teilen der Formel für $f_{(1)}$ durch die für $f_{(2)}$ ableiten

$$\frac{f_{(1)}}{f_{(2)}} = \frac{V_{\text{sound}} + V_{\text{vehicle}}}{V_{\text{sound}} - V_{\text{vehicle}}}$$

$$f_{(1)} \cdot (V_{\text{sound}} - V_{\text{vehicle}}) = f_{(2)} \cdot (V_{\text{sound}} + V_{\text{vehicle}})$$

$$f_{(1)} \cdot V_{\text{sound}} - f_{(1)} \cdot V_{\text{vehicle}} = f_{(2)} \cdot V_{\text{sound}} + f_{(2)} \cdot V_{\text{vehicle}}$$

$$V_{\text{sound}} \cdot (f_{(1)} - f_{(2)}) = V_{\text{vehicle}} \cdot (f_{(1)} + f_{(2)})$$

$$V_{\text{vehicle}} = V_{\text{sound}} \cdot \frac{f_{(1)} - f_{(2)}}{f_{(1)} + f_{(2)}}$$

3 | 3 | 5 Ergebnisse

$f_{(1)} = 431,2 \text{ Hz}$; $f_{(2)} = 395,8 \text{ Hz}$

$$V_{\text{vehicle}} = 340 \cdot \frac{431,2 - 395,8}{431,2 + 395,8}$$

$V_{\text{vehicle}} = 13,1 \text{ m/s}$; $v_{\text{vehicle}} = 47 \text{ km/h}$; die Geschwindigkeit auf dem Tacho beträgt 50 km/h .

4 | Option zur Kooperation

- ▶ Es ist möglich, Dateien mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten und Fahrzeugen mit Doppler-Effekt-Messungen zu teilen und eine Datenbank dieser Messungen zu erstellen.
- ▶ Eine Schule kann ihre Dateien aufnehmen und sie an andere Schulen schicken. Die Schüler müssen die Geschwindigkeit des Fahrzeugs in den Aufnahmen der anderen Schule berechnen.

5 | Fazit

In dieser Unterrichtseinheit können die Schüler dem vorgegebenen Verfahren folgen oder ein eigenes Verfahren entwickeln.

Es gibt noch weitere Möglichkeiten, wie z. B.:

- ▶ Gehe zurück und finde die echte Frequenz $f_{(0)}$, wenn das Fahrzeug stillsteht. Dazu wird die Geschwindigkeit des Fahrzeugs, $f_{(1)}$ oder $f_{(2)}$, genutzt.
- ▶ Stecke einen Signalgeber oder ein Smartphone in eine Stofftasche. Beim Smartphone müssen die Schüler zunächst die signalgebende App starten und sie auf Sinuston einstellen. Der maximale Geräuschpegel sollte zwischen 500 Hz und 1 kHz liegen. Ein Schüler nimmt die Tasche und wirbelt sie mit dem lärmenden Smartphone darin in vertikalen Kreisen (vorsichtig, um das Telefon nicht zu beschädigen!). Ein anderer Schüler nimmt das Klangspektrum auf und berechnet die Radialgeschwindigkeit des Telefons mit Hilfe des Doppler-Effekts. Diese Aufgabe kann mit einer Zusatzaufgabe kombiniert werden, bei der die Schüler Exoplaneten mit Hilfe der Radialgeschwindigkeitsmethode suchen.
- ▶ Erzeuge mit der signalgebenden App einen Sinuston. Der maximale Geräuschpegel sollte zwischen 500 Hz und 1 kHz liegen. Ein Schüler läuft mit dem lärmenden Smartphone los und ein anderer nimmt das Spektrum mit einem zweiten Smartphone auf. Mit Hilfe des Doppler-Effekts kann man die Geschwindigkeit des Läufers ermitteln.

6 | Weitere Informationen

- ▶ Für weitere Informationen zu Exoplaneten: <http://exoplanets.org/>.
- ▶ Hands-on Universe Europe: Übung zu Exoplaneten unter euhou.obspm.fr.





Hände

Hände sind in jedem Wachstums- und Entwicklungsstadium sehr vielseitige Hilfsmittel des Menschen. Kinder nutzen ihre Hände, um die Welt um sich herum durch Greifen zu erkunden und Erwachsene setzen sie für alle möglichen komplexen Aufgaben von harter körperlicher Arbeit bis hin zu feiner Kunst ein.



Heutzutage spielen Hände eine wichtige Rolle bei der Nutzung moderner persönlicher Geräte wie Smartphones. Diese Geräte sind heute so alltäglich, dass fast jeder Schüler in einer weiterführenden Schule in Europa jederzeit eins zur Hand hat. Wenn Schüler in die Schule gehen, vergessen sie vielleicht ihre Bücher, aber niemals ihr Smartphone.

Unsere Hände sind eine sehr wichtige Schnittstelle, nicht nur in die digitale Welt der Smartphones, sondern auch in die reale Welt. „Hands-on“ beschreibt auch eine Unterrichtsmethode, bei der die Schüler Experimente praktisch durchführen und den Stoff nicht nur theoretisch lernen. Die vier beschriebenen Lehreinheiten sind eine Kombination: Die Schüler werden selbst in der realen Welt aktiv und nutzen auch ihr Smartphone.

Klassische Messungen von Distanzen und Höhe werden in der Lehreinheit „Die Vermessung unserer Welt“ mit Messungen mit dem Smartphone verglichen. Die Schüler nutzen ihre Hände für Messungen mit einem Lineal oder Geodreieck und mit dem Smartphone. Ist es wirklich so eine gute Idee, das Handy zu benutzen oder sollte man lieber den altmodischen Weg gehen? In jedem Fall ist die aktive Anwendung von Geometrie für die Messungen notwendig.

In der nächsten Lehreinheit „Beschleunigungsmessung mit dem Smartphone“ bekommen die Schüler einen alten Plattenspieler und nutzen ihn als Karussell. Zur Untersuchung von Kreisbewegungen müssen sie ihr Smartphone stets bei sich haben. Sie messen die Zentripetalbeschleunigung und ermitteln die Position des Beschleunigungssensors mit dem eigenen Smartphone.

„Sport und Physik“ würde auch in unsere Einheit zum Thema Auge passen, hier benötigen die Schüler aber auch noch ihre Hände. In dieser Lehreinheit geht es um Videoanalyse mit dem Smartphone. Es gibt viele Möglichkeiten zur Nutzung von Videoanalysen im Unterricht, insbesondere zur Analyse jeder Art von Bewegung. Hier kommt das Smartphone ins Spiel, weil es eine hochauflösende Kamera hat, so dass jeder Schüler ein eigenes Video drehen kann. Dieser Vorteil ist nicht zu unterschätzen. In vielen Fällen kann das Video dann am Computer auf einem größeren Bildschirm analysiert werden, aber wenn Beweglichkeit eine wichtige Rolle spielt, ist die Analyse auch direkt auf dem Smartphone möglich.

Die letzte Lehreinheit ist der Abschnitt „Das Magnetfeld der Erde“. Dabei vergleichen die Schüler klassische Messungen mit den Ergebnissen der Smartphone-Sensoren. Für den klassischen praktischen Teil bauen die Schüler eigene Helmholtz-Spulen und nutzen diese dann zur Erzeugung eines Magnetfelds, das das Magnetfeld der Erde kompensiert.

Diese vier Lehreinheiten sind gute Beispiele, aber wahrscheinlich kommen dem Leser noch viele weitere Ideen. Es wird aufgezeigt, wie praktische Naturwissenschaft mit moderner Technologie kombinierbar ist, die man stets zur Hand hat.

 **Dr. Jörg Gutschank**

Leibniz-Gymnasium | Dortmund International School
Vorstandsmitglied Science on Stage Deutschland e.V.
Hauptkoordinator



Die Vermessung unserer Welt



Damjan Štrus

Corina Toma



1 | Zusammenfassung

Wenn wir unsere Welt vermessen wollen, müssen wir sie verstehen. Diese Lehreinheit beantwortet die Fragen interessierter Schüler und zeigt, wie man Distanzen und große Höhen durch einfache Logik messen kann. Wie oft fragen wir uns, wie hoch dieser Wolkenkratzer, dieser Berg oder dieser Fernsehturm wohl sein mögen? Warum nicht das allgegenwärtige Smartphone nehmen und es herausfinden? In dieser Lehreinheit nehmen die Schüler mit geeigneten Apps eigene Messungen vor und vergleichen ihre Ergebnisse mit Daten, die mit klassischen, bewährten Hilfsmitteln gemessen wurden.

- ▶ **Stichwörter:** Distanz, Höhe, geografische Höhe, Parallaxe, Druck
- ▶ **Fächer:** Physik, Mathematik, Informations- und Kommunikationstechnologien
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 12–19 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Distance and Parallax, Smart Distance, Distance and Height, Height and Pressure
- ▶ **iOS-Apps:** Easy Measure, Height and Distance, My Altitude

2 | Vorstellung des Konzepts

Im Physikunterricht lernen die Schüler zuerst, Längen und Abstände zu messen. Die am weitesten verbreitete Methode der Messung von Distanzen oder Höhen ist die Messung mit dem Lineal oder Maßband. In dieser Lehreinheit schlagen wir vor, dass die Schüler andere, moderne Hilfsmittel nutzen: verschiedene Apps und ein Smartphone. Sie können selbst entscheiden, wie sie vorgehen möchten: Messung auf klassische Art, Berechnung mit Papier und Bleistift, oder alternativ Messung mit Smartphone-Apps. Die Schüler vergleichen diese Methoden und entdecken die jeweiligen Vorteile.

Die Schüler können für ihre Messungen unterschiedliche Arten von Apps nutzen. Für diese Lehreinheit haben wir sorgfältig einige Beispiele ausgewählt, die für unsere Zwecke besonders gut geeignet sind. Diese Apps erfordern einige mathematische Kenntnisse (insbesondere in der Geometrie) und die Kenntnis physikalischer Formeln.

Zunächst werden die Schüler an das Prinzip der Parallaxe herangeführt und dann starten sie die Android-App Distance and Parallax (eine entsprechende iOS-App gibt es nicht), um ihren Abstand zu einem entfernten Objekt zu messen.

Dann bestimmen die Schüler den Abstand zum Zielobjekt sowie dessen Höhe mit einem Lineal und der Android-App Distance and Height oder der iOS-App Height and Distance.

Für beide Aufgaben müssen die Schüler ihr geometrisches Grundwissen nutzen, insbesondere die Dreieckssätze wie den Satz des Thales.

Anschließend kann die Höhe eines Hügels oder Bergs durch Messung der Temperatur und des Luftdrucks am Fuß und am Gipfel ermittelt werden. In diesem Fall nutzen die Schüler die Android-App Height and Pressure, die für diese Lehreinheit programmiert wurde, oder die iOS-App My Altitude.

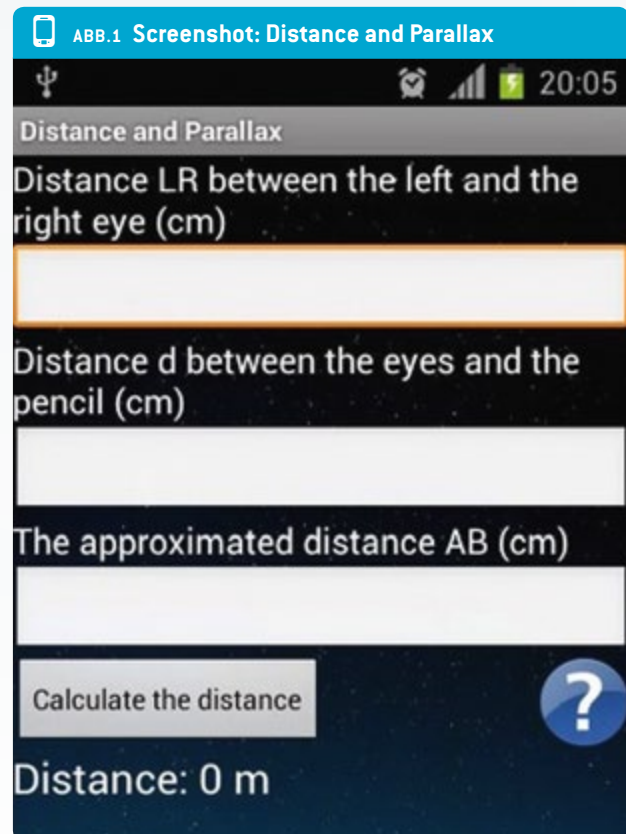
Mit diesen Smartphone-Apps können die Schüler verschiedene Forschungsmethoden anwenden, um ihre Ziele zu erreichen, wie z. B. mathematische Berechnungen, physikalische Formeln, Vergleiche und Abgleich mit Online-Daten, um verschiedene geografische Höhen oder Distanzen zu ermitteln.

Diese Lehreinheit passt gut zu den europäischen Lehrplänen.

3 | Aufgabe der Schüler

3 | 1 Gebrauch der Android-App Distance and Parallax zur Ermittlung des Abstands eines entfernten Objekts von der Erde

In der Lehreinheit „Clevere Astronomen: Mit dem Smartphone vom Klassenzimmer ins Weltall“ finden die Schüler eine vollständige Erläuterung des Parallaxeneffekts und des Einsatzes der Parallaxenmethode für terrestrische Messungen.



Die neue Methode ist im Abschnitt 3.1 beschrieben (Seite 9).

Der Beobachter muss zunächst den Abstand d zwischen seinen Augen und seinem Daumen (oder Stift) messen, dann den Abstand LR zwischen seinen Augen. Mit Hilfe dieser Werte kann der Beobachter den Abstand AB abschätzen (den annähernden Abstand zwischen den wahrgenommenen Positionen des Zielobjekts.) Die Schüler müssen die Daten in die entsprechenden Felder der App (ABB. 1) eintragen und dann auf <CALCULATE THE DISTANCE> gehen, um den Abstand zu erhalten.

In diesem Fall mit den Daten: $d = 55$ cm, $AB = 3$ m und $LR = 6,5$ cm, ist das Ergebnis für die Länge des Sportfelds der Schule $D = 25,9$ m.

Um sicherzustellen, dass die obige Messung richtig war, haben die Schüler dieselbe Distanz noch einmal mit einer klassischen Methode, dem Maßband, nachgemessen und dabei den Wert $D = 25$ m ermittelt.

Die Schüler können anschließend die Ergebnisse vergleichen und entscheiden, welche Messmethode einfacher ist.

Die Schüler können verschiedene andere Apps nutzen, wie z. B. Smart Distance für Android und Easy Measure für iOS, um ihren Abstand zu einem Objekt zu messen. Solche Apps werden dann unverzichtbar, wenn die Schüler kein Maßband zur Bestimmung der direkten Distanz zum Zielobjekt mehr nutzen können (weil diese zu groß ist). Mit dieser Telemeter-App erfolgt die Messung mit Hilfe der Kameraperspektive des Smartphones. Die Schüler müssen die Höhe des Zielobjekts abschätzen, die Daten in das entsprechende Feld eintragen und dann den Bildschirm berühren, um das Ziel zwischen zwei horizontalen Linien zu positionieren. Das Smartphone liefert die Distanz.

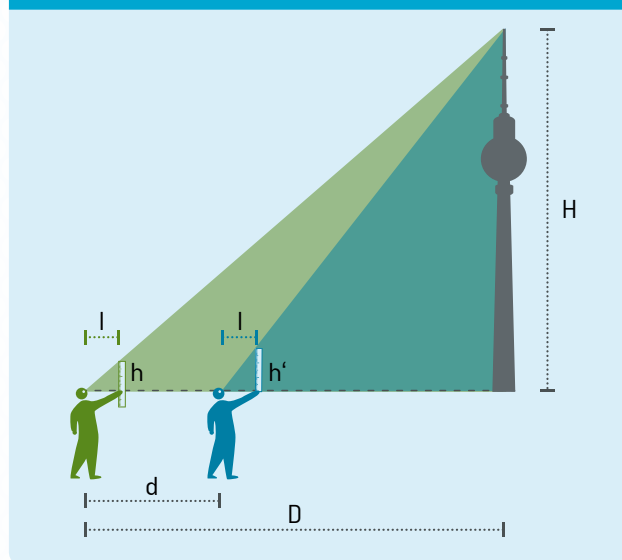
3 | 2 Nutzung der Android-App Distance and Height oder der iOS-App Height and Distance, um gleichzeitig die Distanz und die Höhe eines Zielobjekts zu bestimmen

Die Schüler beginnen mit einem Lineal die scheinbare Höhe h des Zielobjekts zu messen. Das Zielobjekt befindet sich in unbekannter Distanz D .

Sie bewegen sich mehrere Schritte auf das Zielobjekt zu. Die Distanz d lässt sich mit einem Maßband messen oder kann auch mit der eigenen Schrittlänge ungefähr abgeschätzt werden.

Wieder messen die Schüler die scheinbare Höhe h' des Zielobjekts. Diesmal ist die gemessene scheinbare Höhe größer als bei der ersten Messung.

ABB.2 Messung der scheinbaren Höhe mit einem Lineal



Die beiden dabei entstandenen Dreiecke sind rechtwinklig.

Die Distanz D lässt sich mit folgender Formel errechnen:

$$D = d \frac{h'}{h' - h}$$

Die Höhe H des Zielobjekts lässt sich mit folgender Formel errechnen:

$$H = \frac{d \cdot h \cdot h'}{l(h' - h)}$$

wobei

- ▶ l = Abstand zwischen Augen und Lineal
- ▶ D = Distanz zum Zielobjekt
- ▶ H = Höhe des Zielobjekts
- ▶ d = Distanz zwischen den beiden Beobachtungspunkten
- ▶ h und h' = scheinbare Höhen des Zielobjekts, gemessen mit einem Lineal.

Natürlich ist es viel einfacher, die Daten in eine App einzugeben, die sofort die Ergebnisse liefert.

Die Schüler werden sehen, dass sie bei einer Distanz von 50 m eine Distanz d von etwa 10 m zwischen den beiden Beobachtungspunkten nutzen können. Ist das Ziel weiter weg – etwa 2 km –, dann muss die Distanz d auf 50 m verlängert werden etc. Die Differenz zwischen den beiden scheinbaren Höhen h und h' (gemessen mit dem Lineal) muss mindestens 0,5 cm betragen, denn das menschliche Auge kann Abstände unterhalb dieses Werts nicht mehr genau unterscheiden.



ABB.3 Screenshot: Distance and Height



3 | 3 | Gebrauch der Android-App Height and Pressure oder der iOS-App My Altitude zur Bestimmung der Höhe eines Bergs oder der geografischen Höhenlage einer Schule mit einem Smartphone mit Temperatur- und Drucksensor

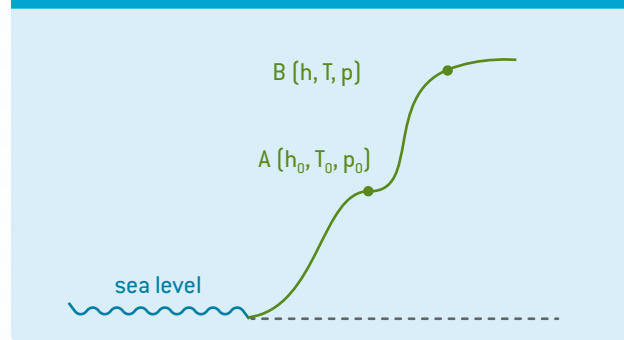
Zuerst müssen die Schüler prüfen, ob ihr Smartphone für diese Messungen geeignet ist. Mit Hilfe der Android-App Sensor-Box oder der iOS-App Sensor Monitor können sie herausfinden, welche Sensoren ihr Smartphone hat.

3 | 3 | 1 Höhenmessung mit vier Parametern

Die Temperatur und der atmosphärische Druck verändern sich je nach Höhenlage. Wenn die Schüler die atmosphärischen Parameter in unterschiedlichen Höhenlagen messen – nämlich an Punkt A und B (ABB. 4) –, dann kann davon ausgegangen werden, dass die Temperatur und die geografische Höhe innerhalb der Troposphäre linear voneinander abhängen.

Pro Kilometer über dem Meer (Normalnull) fällt die Temperatur um 6,5 Kelvin. In diesem Fall kann folgende Formel angewendet werden: $T = T_0 + \alpha(h - h_0)$

ABB.4 Messung der atmosphärischen Parameter in den unterschiedlichen Höhenlagen



wobei

- ▶ T = Temperatur in der Höhe h (Punkt B)
- ▶ T_0 = Anfangstemperatur in der anfänglichen Höhe h_0 (Punkt A)
- ▶ α = Temperaturgradient = $-0,0065 \text{ K/m}$.

Die Beziehung zwischen Druck und Temperatur wird wie folgt ausgedrückt:

$$\frac{p}{p_0} = \left(\frac{T}{T_0} \right)^{-\frac{g\mu}{\alpha R}}$$

wobei

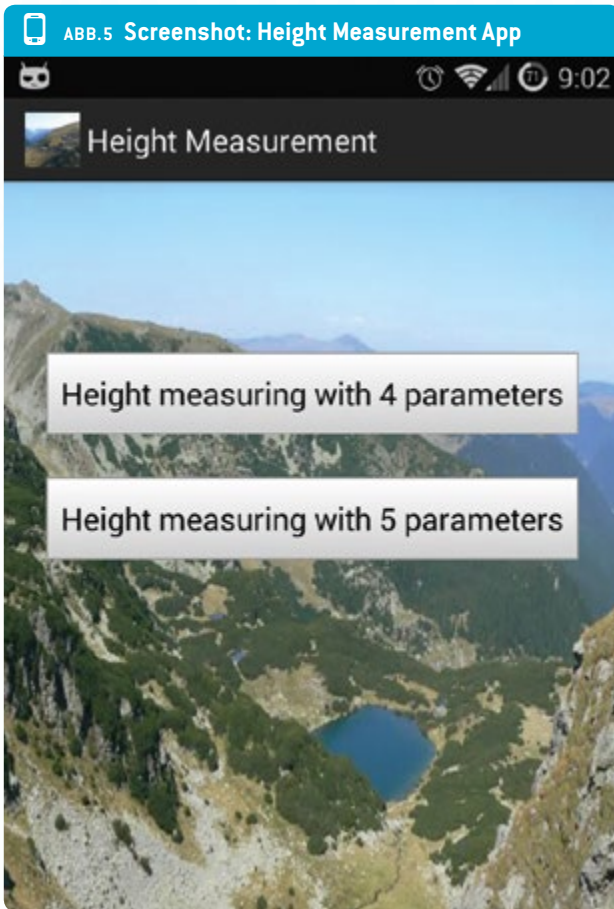
- ▶ p = Druck (in mbar) in der Höhe h
- ▶ p_0 = Druck (in mbar) in der Höhe h_0
- ▶ g = gravitative Beschleunigung bei Normalnull = $9,81 \text{ m/s}^2$
- ▶ R = universelle Gaskonstante = $8,310 \text{ J/(kmol} \cdot \text{K)}$
- ▶ μ = molare Masse der Luft = 29 kg/kmol .

Durch Kombination dieser beiden Formeln erhalten die Schüler die endgültige Gleichung, die sie zur Berechnung der geografischen Höhe einsetzen können:

$$h = \frac{T_0}{\alpha} \left[\left(\frac{p}{p_0} \right)^{-\frac{\alpha R}{\mu g}} - 1 \right] + h_0$$

Zusammenfassung: Mit dem Smartphone müssen die Schüler die Temperatur T_0 und den Druck p_0 am Startpunkt A messen, im Internet die geografische Höhe h_0 herausfinden (oder $h_0 = 0$ festlegen) und dann den Druck p am Endpunkt B messen. All diese Daten müssen sie in die entsprechenden Felder der App eingeben und dann auf <CALCULATE THE HEIGHT> gehen.





3 | 3 | 2 Höhenmessung mit fünf Parametern

Mit derselben App und der barometrischen Höhenformel können die Schüler auch die Höhe oder geografische Höhenlage berechnen (Formel 6):

$$p = p_{sl} \cdot e^{-\mu g h / (RT)}$$

wobei p_{sl} = Druck bei Normalnull.

Wir erhalten für die Parameter der beiden Punkte, A und B, folgende Ergebnisse:

$$\frac{p}{p_0} = e^{-\frac{\mu g}{R} \left(\frac{h_0}{T_0} - \frac{h}{T} \right)}$$

In diesem Fall können die Schüler die Höhenlage h mit folgender Gleichung berechnen (Formel 8):

$$h = \frac{RT}{\mu g} \ln \frac{p_0}{p} + \frac{T}{T_0} h_0$$

Warum zwei Formeln für dieselbe Messung?

Die Schüler sollen die Ähnlichkeiten und Unterschiede zwischen beiden Methoden beobachten.

Zunächst müssen sie bei der Nutzung des zweiten Teils der App einen weiteren Parameter eingeben: die Temperatur T an Punkt B.

Dann können sie eine Tabelle (Abb. 6) mit den Daten aus dem Internet und den mit der App Height and Pressure berechneten Daten erstellen.

3 | 4 Weitere Versuche

Es wird empfohlen, dass die Schüler zwei oder drei verschiedene Smartphone-Apps für die Messung verwenden:

- ▶ Distanzen zum Zielobjekt
- ▶ Höhe von Zielgebäuden
- ▶ Distanzen zu geografischen Gebilden (Hügeln oder Bergen) sowie deren Höhe

Während ihrer Untersuchungen werden die Schüler merken, dass manche Apps besser geeignet sind für Objekte, die dem Beobachter näher sind, und andere eher für weiter entfernte Objekte.

Sie können ihre Ergebnisse mit Referenzdaten vergleichen und dann die Fehler in ihren Messungen identifizieren.

Die Schüler könnten Teams bilden, um eine Reihe einfacher Fragen zu beantworten:

- ▶ Welche App war am besten für Messungen kleiner Entfernungen und welche eher für größere Entfernungen geeignet?
- ▶ Welche App ist am besten zur Messung der Höhe des Schulgebäudes geeignet?

ABB.6 Tabelle für den Datenvergleich

T_0 (K)	T (K)	p (mbar)	h_0 (m)	$h_{\text{(Formel 6)}}$ (m)	$h_{\text{(formel 8)}}$ (m)	h_{internet} (m)





Jeder Schüler misst die Höhe des Gebäudes mit einem Stück Schnur mit einem Gewicht am Ende und misst dann die Länge der Schnur. Die Schnur wird von der Spitze des Gebäudes bis zur Basis gehalten. Danach wird dieselbe Höhe mit den in dieser Lehrinheit genannten Apps bestimmt. Außerdem können die Schüler noch eine dritte App, wie z. B. Smart Distance, nutzen.

Für Apps, die geometrische Sätze anwenden, ist es nützlich, darauf hinzuweisen, dass das Endergebnis vom Abstand zwischen Beobachter und Zielobjekt abhängt.

Bei der Messung der Höhe oder Höhenlage mit dem Drucksensor ist es interessant, die Druckmessungen mit den mit einem klassischen Barometer gemessenen Werten zu vergleichen.

- ▶ Welche App ist zur Bestimmung der eigenen Körpergröße geeignet?
- ▶ Welche App ist zur Bestimmung der Höhe eines Bergs geeignet?

3 | 5 Eine weitere interessante Frage/Aufgabe

Heute hat fast jedes Smartphone einen eingebauten Beschleunigungssensor. Die Schüler könnten die Erdbeschleunigung auf dem Boden und während eines Flugzeugflugs messen. Mit Hilfe der Formel für die Erdbeschleunigung, die von der geografischen Höhe abhängt, können die Schüler die Flughöhe des Flugzeugs bestimmen. Lässt sich diese Methode erfolgreich anwenden? Argumente für und gegen eine erfolgreiche Anwendung können gesammelt werden.

4 | Option zur Kooperation

Schüler aus unterschiedlichen Ländern können ihre Ergebnisse vergleichen und ein gemeinsames Projekt starten, das einen Titel wie „Messung der Höhe unserer Schule mit dem Smartphone“ tragen könnte.

5 | Fazit

Wenn diese Lehrinheit auf den ersten Blick auch relativ leicht erscheint, müssen die Schüler doch ihr Grundwissen in Geometrie, Mechanik und Hydrostatik auffrischen und dazu eine beträchtliche Datenmenge verarbeiten.

Die Schüler sollten die mathematischen Formeln und physikalischen Gesetze kennen, auf denen die Smartphone-Apps beruhen.

Es ist wichtig, dass die Schüler die richtige Smartphone-App für vorgegebene Höhen oder Distanzen wählen, damit die Messungen so genau wie möglich sind. Sie werden merken, dass das Smartphone für diesen Zweck ein Hilfsmittel von unschätzbarem Wert ist.

Nicht zuletzt möchten wir noch betonen, dass die drei Android-Apps für diese Lehrinheit (Distance and Parallax, Distance and Height und Height and Pressure) von Alex Toma, einem rumänischen Schüler, entwickelt wurden. Es ist eine Herausforderung für Schüler, sich in der Entwicklung entsprechender iOS-Apps oder anderer Apps zu versuchen, die dann für Experimente genutzt werden können. Hier werden die Fächer Physik, Mathematik und Informatik zusammengebracht, um interessante neue Methoden für naturwissenschaftliches Lernen zu entwickeln.



Beschleunigungs- messung mit dem Smartphone



Lorenza Resta

Zbigniew Trzmiel



1 | Zusammenfassung

Mit den Bewegungssensoren eines Smartphones können Schüler die Beschleunigung X in drei Richtungen im rechten Winkel messen und so leichter verstehen, wie man einen Vektor in seine Bestandteile und deren Kombination auflöst. Im Klassenzimmer lässt sich Beschleunigung im kleinen Maßstab mit einem Plattenspieler darstellen (30 cm Durchmesser). Es ist sehr wichtig, die Position des Beschleunigungsmessers zu bestimmen und diese bei der Untersuchung von Bewegungen in nicht linearen Bahnen zu berücksichtigen. Beschleunigung im großen Maßstab lässt sich außerhalb der Schule in rotierenden Fahrgeschäften in Freizeitparks und auf der Kirmes beobachten (7,20 m Durchmesser).

- ▶ **Stichwörter:** Beschleunigung
- ▶ **Fächer:** Physik, Mathematik, Informatik
- ▶ **Alter der Schüler:** 15–18 Jahre
- ▶ **Android- und iOS-Apps:** SensorKinetics, SensorKinetics Pro
- ▶ **Android-Apps:** Physics Toolbox Accelerometer, Accelerometer Monitor, Physics Toolbox Roller Coaster, Regression Calculator
- ▶ **iOS-Apps:** Sparkvue, Regression Calculator
- ▶ **Zusätzliche Computer-Software:** Tracker

2 | Vorstellung des Konzepts

Die Schüler untersuchen gleichförmige Kreisbewegungen im realen Kontext. Sie erforschen die Bewegung im kleinen Maßstab mit einem Plattenspieler. Der Sensor des Smartphones liefert die Beschleunigungswerte entlang der drei Achsen. Die Messung der Beschleunigung des Smartphones in unterschiedlichen Positionen auf dem Plattenspieler ermöglicht es, die Position des Sensors im Smartphone zu bestimmen.

Wir stellen zwei Messmethoden vor. Die Schüler verstehen den Einfluss der Position des Sensors besser, wenn sie eine App für dynamische Geometrie nutzen.

Kreisbewegungen im großen Maßstab können die Schüler in rotierenden Fahrgeschäften untersuchen. Sie messen die Beschleunigung mit Smartphones, die sie an unterschiedlichen Stellen auf der Plattform angebracht haben. Sie untersuchen die Auswirkung der Beschleunigung entlang der drei Achsen. Dabei achten sie insbesondere auf die radiale Richtung, um die Zentripetalbeschleunigung besser zu verstehen.

Dann analysieren sie die erhaltenen Werte und übertragen sie in eine spezielle Smartphone-App. Mit dieser App können die Schüler die Beschleunigungskurve im Verhältnis zum Radius erstellen und die Daten einer Regressionsanalyse unterziehen. Sie finden die Gleichung zum linearen Ausgleich, mit Steigung und Schnittpunkt, und werten die Qualität dieses Ausgleichs aus.

3 | Aufgabe der Schüler

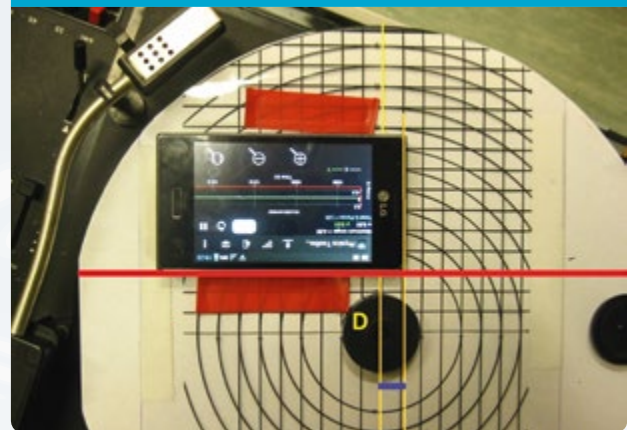
3|1 Im kleinen Maßstab (Plattenspieler)

3|1|1 Messmethoden

Der Versuch könnte wie in **ABB. 1** aufgebaut werden. Wir nehmen Videos auf und halten die Beschleunigung mit Apps fest, während sich das Smartphone auf einem Plattenspieler dreht.

Die Interpretation der Daten und die Berechnung werden erleichtert, wenn zwei Seiten des Smartphones im rechten Winkel zum Radius der Platte liegen.

ABB. 1 Die Platte mit transparenter Folie erleichtert die Positionierung des Smartphones



Wir können das Smartphone mit doppelseitigem Klebeband auf eine transparente Folie kleben. Dadurch kann das Smartphone in unterschiedlichen Positionen an der ausgewählten Linie (rote Linie in **ABB. 1**) exakt positioniert werden.

3|1|2 Bewegungssimulation mit dynamischer Geometrie

Wie in **ABB. 1** dargestellt, dreht sich das Smartphone in der horizontalen Ebene (der x - y -Ebene) und hat daher keine Komponente der z -Beschleunigung. Wird das Smartphone jedoch vertikal aufgestellt, kann die x - oder y -Beschleunigung außer Acht gelassen werden.

Die App Geogebra für dynamische Geometrie ermöglicht die Veränderung der Position des Smartphones sowie des Sensors innerhalb des Smartphones. Das gibt uns die Möglichkeit, die Werte der einzelnen Beschleunigungskomponenten zu verfolgen.

3|1|3 Erhebung und Analyse der Daten

[A] Die Schüler bestimmen, welche Position der Smartphone-Sensor bei gleichförmigen Kreisbewegungen hat. Sie bewegen ihr Smartphone entlang einer fixen Linie (der roten Linie in **ABB. 1**) und messen die Beschleunigung für unterschiedliche Positionen (das blaue Segment in **ABB. 1**).



Das Segment stellt den Abstand zwischen der Durchmesserlinie D und einer Seite des Smartphones dar. Wenn die Schüler die Position finden, in der die Tangentialkomponente der Beschleunigung fast null ist, dann haben sie die y-Koordinate der Sensorposition gefunden.

In unserem Versuch messen wir die Tangente, d. h. die y-Komponente der Beschleunigung, in zehn verschiedenen Positionen. Hier zeigen wir drei Beispiele der Ergebnisse.

Die Kurven und Tabellen in **ABB.2**, **3** und **4** zeigen Beispiele für Ergebnisse und Berechnungen der durchschnittlichen Beschleunigungskomponenten versus Zeit.

Die deklarierte Messunsicherheit unseres Sensors (kleinste Skalenteilung) entspricht 0.038 m/s^2 und in **ABB. 3** ist die gemessene y-Beschleunigung kleiner als dieser Wert, so dass wir ihn als Nullwert betrachten können und damit die richtige Position des Sensors auf der y-Achse gefunden haben.

ABB.2 Die Seite des Smartphones ist 1 cm von der Durchmesserlinie D entfernt

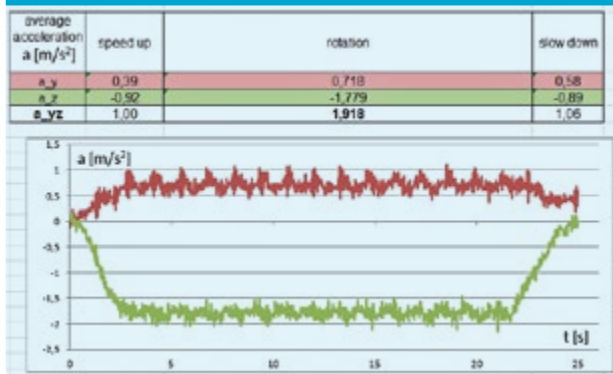


ABB.3 Die Seite des Smartphones ist 4 cm von der Durchmesserlinie D entfernt

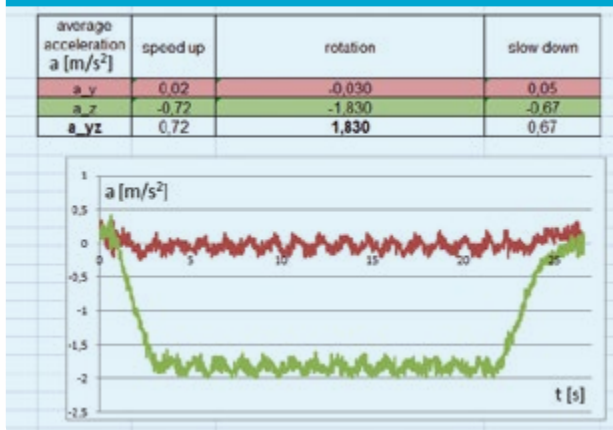
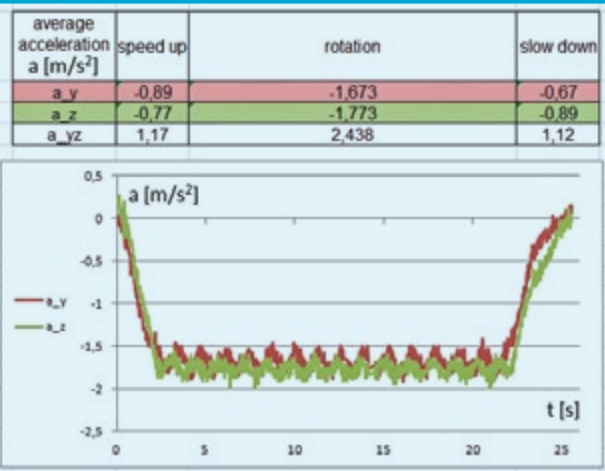


ABB.4 Die Seite des Smartphones ist 11 cm von der Durchmesserlinie D entfernt



Mit ähnlichen Messungen mit den beiden anderen Seiten des Smartphones im rechten Winkel zum Radius können die Schüler die zweite Koordinate des Sensors finden. Somit haben wir die Sensorposition ermittelt.

[B] Eine andere Methode zum Finden der Sensorposition kommt ohne die Nullposition einer Tangentialkomponente der Linie für die Beschleunigung aus. Der Abstand R des sich drehenden Sensors von der zentralen Achse lässt sich wie folgt berechnen:

$$R = a / \omega^2$$

wobei sich die Beschleunigung a auf Basis der vom Sensor gemessenen Beschleunigungskomponente vom Satz des

ABB.5 Die Drehzentren C' und C'' sind die Referenzpunkte für die beiden Positionen des Smartphones auf dem Plattenspieler



ABB.6 Versuchsaufbau

ABB.7 Das Smartphone sorgfältig befestigen


Pythagoras ableiten lässt. Wir können die Winkelgeschwindigkeit ω von der Frequenz der Plattenrotation oder von der Videomessung mit Tracker ableiten. Siehe auch die Lehrinheit „Sport und Physik“ in dieser Broschüre.

Ein Beispiel:

Die Beschleunigungskomponenten für den ersten Aufbau entsprechen $a_x = 0,128 \text{ m/s}^2$ und $a_y = -2,435 \text{ m/s}^2$ und die Kreisbewegungsperiode $T = 1,31 \text{ s}$.

$$a_x = 0,128 \text{ m/s}^2$$

$$a_y = -2,435 \text{ m/s}^2$$

$$a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2} = 2,438 \text{ m/s}^2$$

Wir berechnen a aus der obigen Formel und $R = 0,106 \text{ m}$.

Wir berechnen analog dazu den zweiten Radius für eine andere Position des Smartphones. **ABB. 5** zeigt die Position des Sensors als Schnitt durch die beiden Kreise, deren Radien wie oben beschrieben ermittelt wurden.

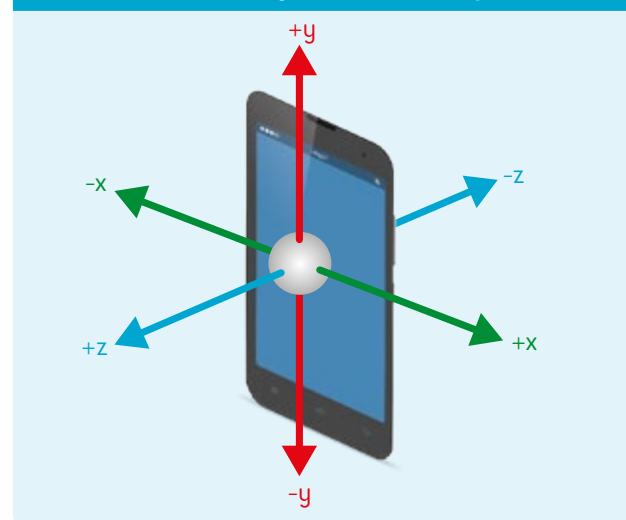
3|2 Im großen Maßstab (rotierendes Fahrgeschäft, z. B. im Freizeitpark oder auf der Kirmes)
3|2|1 Aufbau und Messungen

In einem rotierenden Fahrgeschäft wird ein radialer „Korridor“ auf der Plattform gesucht. Mit farbigem Klebeband werden unterschiedliche Positionen entlang dieser radialen Richtung markiert (P1, P2, P3, P4 etc.). Mit einem Maßband den Abstand jedes Punktes vom Zentrum der Plattform messen. Wenn es Hindernisse gibt, die der direkten Messung vom Zentrum aus entgegenstehen, wird der Abstand jedes Punktes von der äußeren Kante der Plattform aus gemessen und dann die Differenz zum Radius der Plattform berechnet.

Die Periode des Durchlaufs mehrmals mit der Stoppuhr am Smartphone messen und den Durchschnittswert berechnen.

Die App zur Beschleunigungsmessung starten und das Smartphone auf einen der markierten Punkte legen, und zwar so, dass es entlang der radialen Richtung liegt.

Gleichzeitig könnten andere Schüler ihr Smartphone an anderen Stellen entlang des Radius anbringen, um mehr Daten zu bekommen und diese Daten dann aufzuzeichnen. Die y -Richtung des Smartphones sollte mit dem Radius des Fahrgeschäfts in einer Linie sein.

ABB.8 Koordinatensystem eines Smartphones


Nach der Fahrt sollten die Schüler sich die Kurven zur Beschleunigung entlang der drei Achsen x , y und z ansehen und die Unterschiede im Detail betrachten.



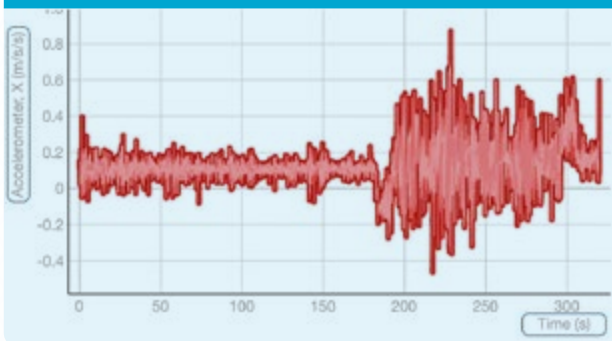

ABB.9 Beschleunigung vs. Zeit in x-Richtung


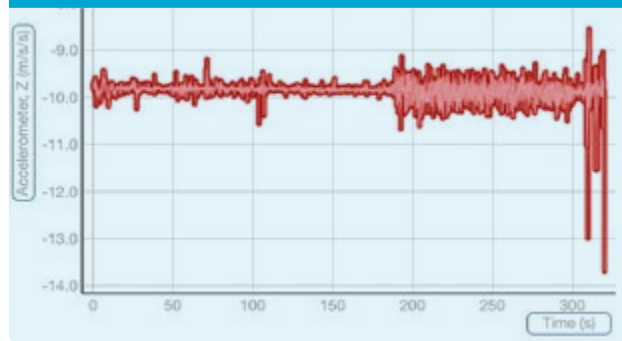
ABB.10 Beschleunigung vs. Zeit in z-Richtung


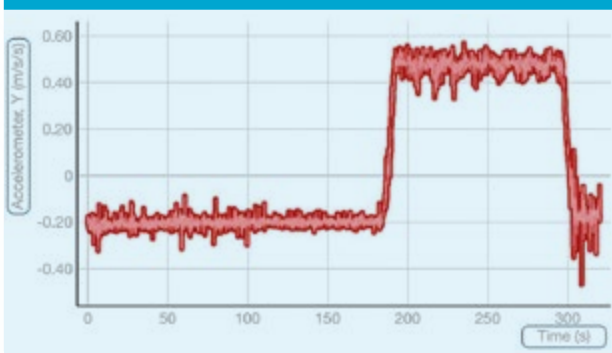
ABB.11 Beschleunigung vs. Zeit in y-Richtung mit initialisiertem Start bei -0,20 m/s/s


ABB.12 Beschleunigung vs. Zeit in y-Richtung ohne initialisierten Start


3 | 2 | Analyse

Die Beschleunigung versus Zeit in x-Richtung und in z-Richtung ist relativ konstant, aber die Daten haben im Bewegungszustand eine höhere Spannweite als im Ruhezustand.

Die Kurven zeigen eine typische Messung: Wenn das Karussell sich zu drehen beginnt, steigert sich die Beschleunigung entlang der y-Achse in positiver Richtung bezogen auf die positive y-Richtung des Smartphones (siehe oben, Koordinatensystem eines Smartphones). Danach ist die Beschleunigung relativ konstant (die Rotationsgeschwindigkeit ist konstant) und dann geht die Beschleunigung entlang der y-Achse zurück und kehrt bis zum Stopp zu Null zurück.

In einer der Tabellen ist der anfängliche Beschleunigungswert nicht Null und die Schüler müssen diesen Wert von der gemessenen Beschleunigung abziehen, um den tatsächlichen Wert zu erhalten.

Die Schüler können eine manuelle Regression der Daten versuchen. Sie müssen die Punkte (Radius, Beschleunigung) in ein Diagramm eintragen und die am besten passende Datenlinie ziehen (lineare Regression) sowie die Gleichung $y = mx + q$ mit Steigung und Schnittpunkt finden.

Die Schüler könnten auch eine Smartphone-App für die lineare Regression nutzen. In diesem Fall müssen sie die Parameter der Gleichung finden und die Daten in die Linie einfügen.

Die Schüler können sehen, dass der Wert R^2 über die Qualität der Datenanpassung entscheidet. Im vorgestellten Beispiel ist das Ergebnis hervorragend. Am Ende vergleichen die Schüler die mit dem Smartphone gemessenen Beschleunigungswerte mit der Theorie (siehe Formel für die Zentripetalbeschleunigung) und prüfen den Grad der Übereinstimmung.

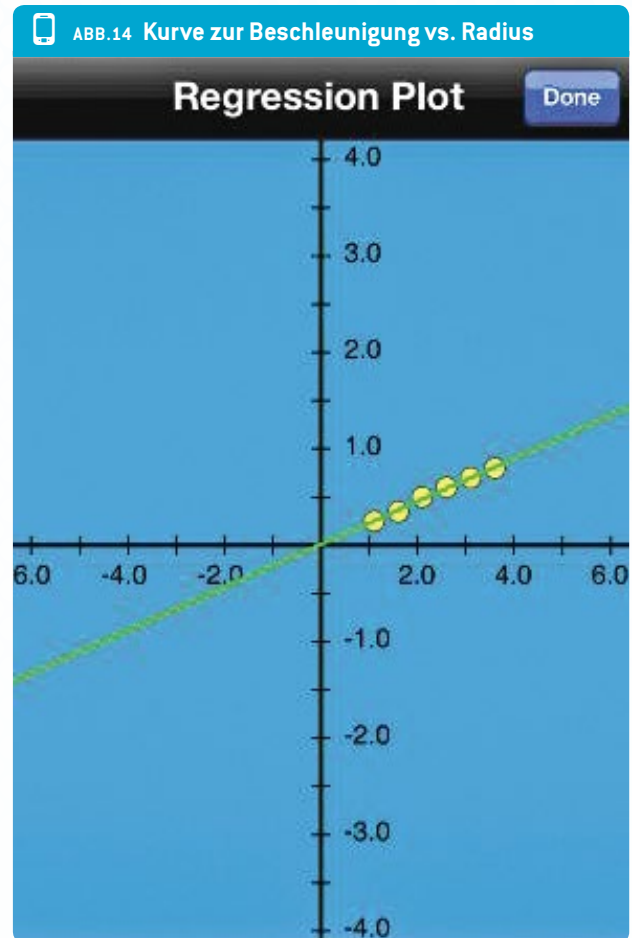
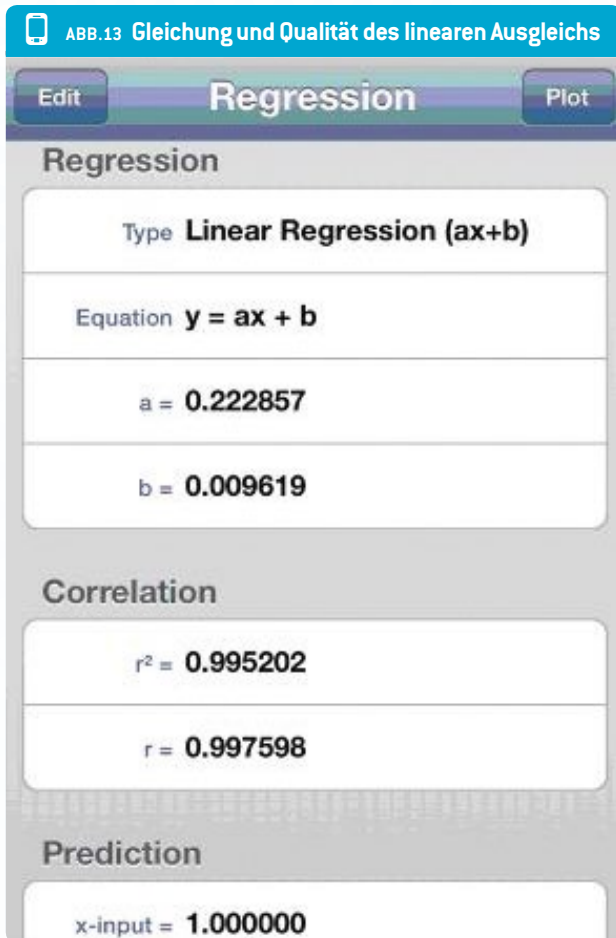
4 | Option zur Kooperation

Schüler unterschiedlicher Schulen und Länder können sich über die Projekte und ihre Ergebnisse austauschen. Um für Lehrer und Schüler Anreize für Beschleunigungsmessungen mit dem Smartphone zu schaffen, organisieren wir in Zusammenarbeit zwischen Science on Stage Europe und eTwinning France auch einen Wettbewerb zu physikalischen Messungen in Freizeitparks.

5 | Fazit

Das vorgeschlagene Projekt dient den Schülern als gutes Beispiel für Methodik. Da die Physik von Kreisbewegungen stets dieselbe ist, müssen die Schüler mit zwei Situationen umge-





hen, die denselben Gesetzen unterliegen, allerdings in unterschiedlichen Maßstäben.

Nach dem Aufzeigen der Gemeinsamkeiten ist es wichtig, auch die Unterschiede zwischen den beiden Situationen zu verdeutlichen, beispielsweise die unterschiedliche Bedeutung der Unsicherheit über die Position des Beschleunigungsmessers innerhalb des Smartphones. Wenn es um Dimensionen von einigen hundert Zentimetern geht (Radius eines Fahrgeschäfts), ist eine Ungenauigkeit von ein paar Zentimetern zu vernachlässigen. Bei kleineren Dimensionen des Radius (etwa ein Radius von zehn Zentimetern wie beim Plattenspieler) hat eine Ungenauigkeit von einigen Zentimetern eine größere Bedeutung.

6 | Quellen

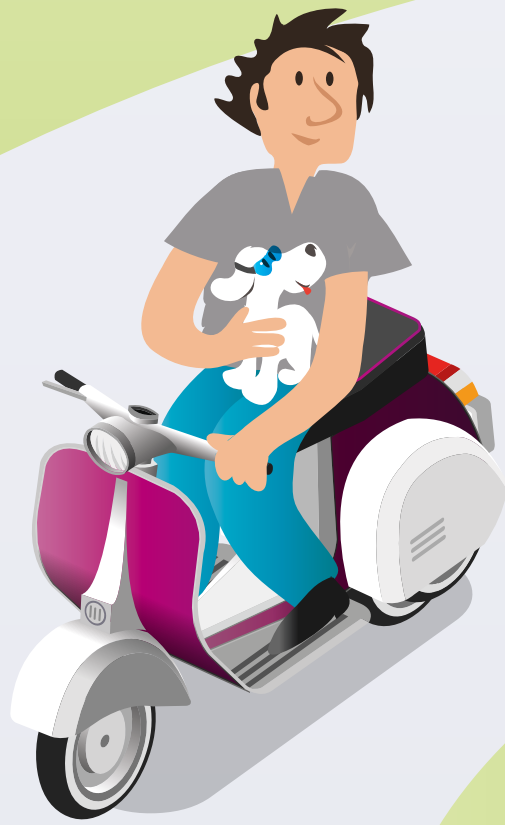
- ▶ <http://wiki.geogebra.org/>
- ▶ www.feynmanlectures.caltech.edu/I_11.html#Ch11-S3
- ▶ <http://www.lo1.leszno.edu.pl/geogebra>
- ▶ Rebecca E. Vieyra, Chrystian Vieyra, „Analyzing Forces on Amusement Park Rides with Mobile Devices“, The Physics Teacher, 52, 149 (2014)
- ▶ Martín Monteiro, Cecilia Cabeza, Arturo C. Marti, Patrik Vogt,

ABB.15 Vergleich der experimentellen und theoretischen Beschleunigung

R [m]	a gemessen [m/s ²]	a theoretisch [m/s ²]
3.60	0.80 ± 0.05	0.83
3.10	0.70 ± 0.05	0.71
2.60	0.60 ± 0.05	0.60
2.10	0.50 ± 0.05	0.48
1.60	0.35 ± 0.05	0.37
1.10	0.25 ± 0.05	0.25

- Jochen Kuhn, „Angular Velocity and Centripetal Acceleration Relationship“, The Physics Teacher, 52, 312 (2014)
- ▶ Ann-Marie Pendrill, Johan Rohl, „Acceleration and Rotation in a Pendulum Ride, Measured Using an iPhone 4“, Physics Education, November 2011





Sport und Physik



Dionysis Konstantinou

Damjan Štrus



1 | Zusammenfassung

In dieser Lehreinheit stellen wir einige Beispiele vor, wie Schüler Smartphones für physikalische Videoanalysen unterschiedlicher physikalischer Ereignisse (Bewegungen) einsetzen können. Man kann das Smartphone für die gesamte Analyse nutzen, man kann es aber auch mit dem Freeware-Programm Tracker (oder einem ähnlichen Programm) kombinieren.

- ▶ **Stichwörter:** Tracker, Physik, Videoanalyse
- ▶ **Fach:** Physik (lineare Bewegungen und Kurvenbewegungen, Pendelbewegungen, Kollisionen)
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 15–19 Jahre
- ▶ **Android-App:** VidAnalysis (Veröffentlichung im Dezember 2014)
- ▶ **iOS-Apps:** Adidas Snapshot, Video Physics von Vernier
- ▶ **Zusätzliche Computer-Software:** Tracker

2 | Vorstellung des Konzepts

Die Schüler bereiten einen Versuch vor oder beobachten ein Ereignis (siehe Beispiele unten), nehmen ein Video auf und importieren es in eine App, die eine physikalische Analyse des ausgewählten Phänomens durchführen kann (Smartphone-App oder Tracker).

Die Schüler bekommen folgende Aufgabenstellung:

- ▶ Vergleich ihres theoretischen Wissens mit ihren eigenen Daten, die sie aus einem Echtzeitexperiment oder -ereignis erhalten haben und/oder
- ▶ Ableitung eines physikalischen Gesetzes.

Dieses Projekt ist sehr gut für außerschulische Lernorte geeignet (Exkursion, Klassenfahrt, Sommercamp etc.), wenn die Schüler kein Unterrichtsmaterial, sondern nur ihr Smartphone dabei haben. Sie können sogar während der Busfahrt mit dem Smartphone lernen, statt nur Spiele zu spielen.

3 | Aufgabe der Schüler

Die Schüler müssen zunächst entscheiden, ob sie ein neues Video aufnehmen, ein bereits vorhandenes Video auf ihrem Smartphone auswählen oder ein kostenloses Video aus Sample Videos (E-Book, Beispiele aus Tracker oder einem ähnlichen Programm) auf ihr Smartphone laden möchten. Hier einige Beispiele physikalischer Experimente oder Ereignisse, die Schüler mit ihrem Smartphone aufnehmen können:

- ▶ schräger Basketballwurf
- ▶ horizontaler Basketballwurf
- ▶ freier Fall und vertikaler Wurf eines Basketballs
- ▶ Beschleunigung eines Radfahrers auf horizontaler Ebene (in verschiedenen Gängen)

- ▶ freie Beschleunigung eines Radfahrers (oder Tennisballs) bergab
- ▶ harmonische oder gedämpfte Schwingungen einer Feder
- ▶ Lauf der Spitze des Sekundenzeigers einer Uhr
- ▶ Fahrt eines Autos in einem Kreisverkehr
- ▶ elastische und inelastische Kollisionen in einer Luftförderrinne

Im gleichnamigen iBook „iStage 2“ sind einige Beispielvideos, die unsere Schüler während ihrer Projektarbeit aufgenommen haben, zu finden.

Wenn die Schüler Bewegungen aufnehmen, müssen sie auf einige wichtige Faktoren achten. Wir erklären unsere Tipps anhand des Beispiels eines schrägen Basketballwurfs.

ABB.1 Screenshot des Videos von einem schrägen Basketballwurf



- ▶ Während der Aufnahme müssen die Schüler ihre Smartphones ruhig halten. Sie sollten die Kamera nicht bewegen, da die Analyse von einer fixen Kameraposition ausgeht. Auch muss die Bewegungsebene parallel zur Ebene der Kameralinse bleiben.
- ▶ Das bewegte Objekt sollte etwa in einer Ebene bleiben, die sich im rechten Winkel zur Sichtrichtung befindet.
- ▶ Das Video muss aus kleinstmöglichem Abstand aufgenommen werden, doch der gesamte Bewegungsablauf muss sichtbar sein. Hier bedeutet dies, dass der Basketball nicht an der Spitze der Parabel aus dem Bild verschwinden darf.
- ▶ Die Schüler müssen eine echte Dimension des bewegten Objekts messen, um den Maßstab des Videos zu bestimmen. In unserem Beispiel haben wir dazu den Durchmesser des Basketballs genommen.
- ▶ Während der Aufnahme sollten die Schüler für eine möglichst hohe Bildqualität auf die Lichtverhältnisse achten.

Nach der Aufnahme und dem Import des Videos in die App sollten die Schüler eine physikalische Analyse des ausgewählten Phänomens durchführen. Zur Durchführung der Videoanalyse

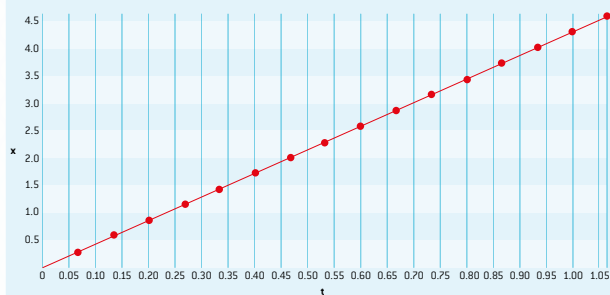


können die Schüler eine der o. g. Apps, Tracker oder ein ähnliches Programm verwenden. Eine vollständige Anleitung zum Gebrauch von Tracker ist in der iStage 1 Broschüre unter www.science-on-stage.de/istage1-download zu finden.

Hauptzweck der Analyse ist das Erstellen von Graphen wie $x(t)$, $y(t)$, $y(x)$, $v_x(t)$, $v_y(t)$, $v(t)$, $E_{\text{kin}}(t)$, $E_{\text{pot}}(y)$ etc. Die Schüler nutzen diese Funktionen zur Ableitung weiterer experimenteller Daten, die sie mit einer Theorie vergleichen und für weitere Berechnungen verwenden können.

Im Folgenden einige Ergebnisse (Graphen) und Tipps zum ausgewählten Beispiel (schräger Basketballwurf):

ABB. 2 Graph $x(t)$ zum schrägen Wurf

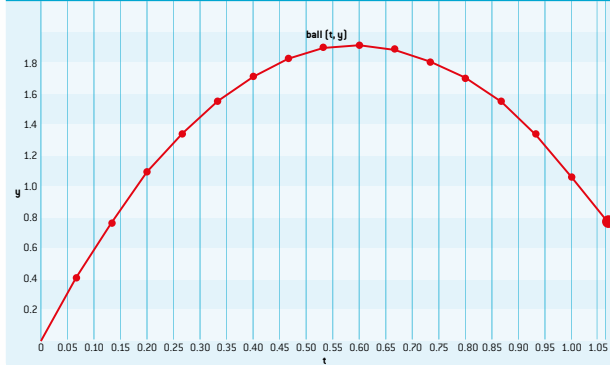


In Graph 1 sieht man, dass v_x konstant ist; auf der x-Achse ist die Einheit Meter, auf der t-Achse Sekunden. Unter diesem Graphen steht die Gleichung zur Anpassung ($x = a \cdot t + b$) und das Programm liefert uns den Wert der Geschwindigkeit des Balls in horizontaler Richtung (Parameter a): $v_x = 4,3$ m/s.

Weitere Aufgaben für die Schüler:

- ▶ Umrechnung dieses Werts in km/h und mph.
- ▶ Auswahl zweier Punkte auf der Linie, Berechnung der Steigung und Vergleich mit dem v_x -Wert.

ABB. 3 Graph $y(t)$ zum schrägen Wurf



Auf der y-Achse ist die Einheit Meter, auf der t-Achse Sekunden. Die Steigung der Tangente der Parabel zeigt die Geschwindigkeit unseres Balls. Das Vorzeichen der Steigung ändert sich, da sich die vertikale Richtung des Balls ändert. Der Ball erreicht den höchsten Punkt am Scheitel, wo die Steigung der Tangente null beträgt.

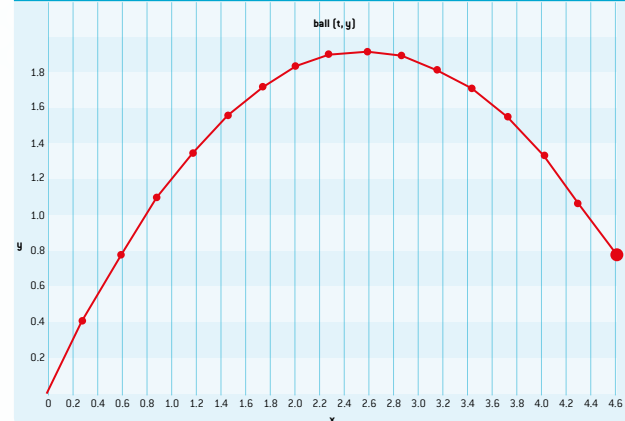
Weitere Aufgaben für die Schüler:

1. Mathematische Gleichung für die Parabel aufstellen. Physikalische Gleichung für den Weg des Balls bei schrägem Wurf aufstellen. Überlegen, welche Informationen man aus den Parametern der Parabel ziehen kann.

ABB. 3 zeigt den tatsächlichen Weg des Balls. Die Kurve ist eine Parabel und die Smartphone-App oder Tracker ermöglichen das Anpassen des Weges und die Ermittlung der Parabelparameter.

2. Die Schüler sollten basierend auf den Graphen in **ABB. 2** und **3** vier weitere Graphen zeichnen, bevor sie sich die Lösung ansehen:

ABB. 4 Graph $y(x)$ zum schrägen Wurf



Graph $v_x(t)$ und $v_y(t)$

Graph $a_x(t)$ und $a_y(t)$

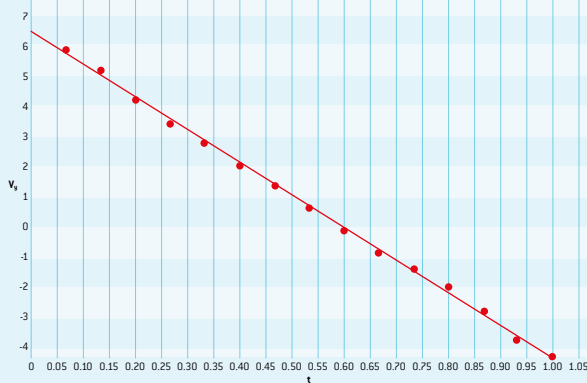
ABB. 5 zeigt die Veränderung der Geschwindigkeit in der vertikalen Dimension während des Wurfs; auf der v_y -Achse ist die Einheit Meter pro Sekunde, auf der t-Achse Sekunden.

3. Zwei Punkte auf der Linie auswählen und die Steigung der Linie berechnen. Bei der Berechnung die richtigen Einheiten benutzen.

Unter dem Graphen steht die Gleichung zur Anpassung ($v_y = a \cdot t + b$). Vergleich der berechneten Steigung mit dem Parameter a zum Erhalt der Beschleunigung der Bewegung. In diesem Fall: $a = -10,7$ m/s² (sollte -g sein).



ABB.5 Graph der Veränderung der Geschwindigkeit in der vertikalen Dimension während des Wurfs



Schnittpunkt der Linie mit der vertikalen Achse ablesen (v_y). Man erhält die Anfangsgeschwindigkeit des Balls in vertikaler Richtung [Parameter $b = v_{y0} = 6,4 \text{ m/s}$].

Mit der Gleichung zur Anpassung wird die Zeit berechnet, die der Ball benötigt, um aufzusteigen, $v_y = a \cdot t + b$. In diesem Fall: $t = 0,60 \text{ s}$.

Mit den vorherigen Daten wird der Höchstpunkt des Balls bei schrägem Wurf berechnet. In diesem Fall: $h_{\text{max}} = 1,9 \text{ m}$. Die Berechnung lässt sich in **ABB. 3** überprüfen.

Welche Information erhält man, wenn man die Fläche zwischen den Linien dieses Graphen und der t -Achse berechnet? Berechnung der Größe dieser Fläche (die richtigen Einheiten verwenden).

Abschließend noch einige Anmerkungen zu VidAnalysis, einer mobilen App für das Android-Betriebssystem, entwickelt 2014 von Richard Sadek (Veröffentlichung in Dezember 2014). Der Gebrauch dieser App in einer frühen Phase ermöglicht den Schülern, etwas über die Grundlagen der physikalischen Analyse dynamischer Phänomene zu lernen. Der Betrieb der App ähnelt dem der zuvor beschriebenen Hilfsmittel. Zu Beginn muss ein physikalisches Phänomen aufgenommen, das Video in die App importiert und die typische Länge des Phänomens im Video bestimmt werden. Die größte Herausforderung ist erneut die möglichst genaue Bestimmung der Position eines bewegten Objekts. Das ist ein großes Problem, da es sehr schwierig ist, auf einem Smartphone-Display ein bewegtes Objekt präzise mit dem Finger anzutippen. Danach zeigt die App sofort eine graphische Analyse von $x(t)$, $y(t)$ und $y(x)$.

4 | Option zur Kooperation

Sie können eine Kooperation zwischen unterschiedlichen Schulen organisieren. Die Schüler der einen Schule bereiten einen Versuch vor, nehmen ein Video auf und schicken es an die Schüler der anderen Schule, die es in Tracker analysieren und einen Bericht schreiben (und umgekehrt). Während der Kooperation können sich die Schüler per Videokonferenz über Skype, Viber oder ein anderes Tool über ihre Erfahrungen austauschen.

5 | Fazit

Die Schüler können eine physikalische Theorie mit Hilfe ihrer eigenen Experimente und anhand von Situationen aus dem echten Leben testen. Sie setzen ihr eigenes Smartphone als Messgerät ein. Auch zur Analyse nutzen sie ihr Smartphone oder per Mausclick ihren Computer – beides sind heutzutage die Lieblingshilfsmittel/-spielzeuge der Schüler. Wenn die Ergebnisse ihres Versuchs zur Theorie passen, ist das für sie eine Bestätigung. Wenn die Ergebnisse nicht passen, können sie über die Gründe dafür nachdenken (ein möglicher Grund ist z. B. der Luftwiderstand; sie könnten das Experiment unter anderen Bedingungen wiederholen).

Durch Auswahl und Analyse eines angemessenen Experiments können die Schüler ein physikalisches Gesetz formulieren.

6 | Persönliche Erfahrung

Die Schüler lernen oder prüfen die Aufnahme nützlicher Videos, lernen den Gebrauch von Video-Analyse-Tools und denken bei Diskrepanzen zwischen Theorie und Praxis über die Gründe nach.



Das Magnetfeld der Erde



Stephen Kimbrough · Damjan Štrus
Corina Toma



1 | Zusammenfassung

Warum ist es so wichtig, die Werte des Magnetfelds der Erde zu kennen? Warum untersucht die aus drei Satelliten bestehende Konstellation Swarm der ESA seine Veränderungen?

Das Magnetfeld der Erde ist verantwortlich für das Auftreten von Polarlichtern in den Polregionen und die überlebensnotwendige Abwendung von Sonnenwinden. Wir nennen dieses Magnetfeld den Schutzschild der Erde gegen kosmische Strahlung und geladene Teilchen.

Das Magnetfeld der Erde lässt sich mit verschiedenen Methoden messen, aber in dieser Einheit können die Schüler ihre Messungen des Magnetfelds mit zwei Helmholtz-Spulen und einem echten Kompass oder einer Smartphone-Kompass-App mit einer direkten Messung mit dem Magnetsensor des Smartphones vergleichen.

- ▶ **Stichwörter:** Magnetfeld der Erde, Helmholtz-Spulen, Deklination
- ▶ **Fächer:** Physik, Mathematik, Informations- und Kommunikationstechnologien, Erdkunde
- ▶ **Altersgruppe der Schüler:** 12–19 Jahre
- ▶ **Android-Apps:** Smart Compass, Sensor Kinetics, Compass
- ▶ **iOS-Apps:** Compass, Magnetometer

2 | Vorstellung des Konzepts

Das Magnetfeld der Erde ist mehr oder weniger wie ein Stabmagnet mit einer Neigung von elf Grad zur Drehachse der Erde. Es sieht so aus, als seien die elektrischen Ströme im Erdkern und ihr Dynamoeffekt für das Vorhandensein dieses Magnetfelds verantwortlich. Das Magnetfeld der Erde verändert sich ständig in seinen Ausmaßen und seiner Richtung. Gleichzeitig ändert sich auch die Position der Pole. Das vom U.S. National Geophysical Data Center berechnete World Magnetic Model wird alle fünf Jahre aktualisiert. Laut NGDC waren die Koordinaten der magnetischen Pole im World Magnetic Model 2010 bei 84,97° N und 132,35° W für den magnetischen Südpol und 64,42° S und 137,34° O für den magnetischen Nordpol.

Das Magnetfeld B der Erde wird mit den SI-Einheiten Mikrottesla (μT) oder Nanotesla (nT) gemessen und sein Wert schwankt zwischen $24\mu\text{T}$ und $66\mu\text{T}$.

Der Zweck dieses Experiments ist es, die horizontale Komponente des Erdmagnetfelds mit zwei Helmholtz-Spulen, einem Kompass und einem Smartphone mit Sensor für Magnetfelder zu messen.

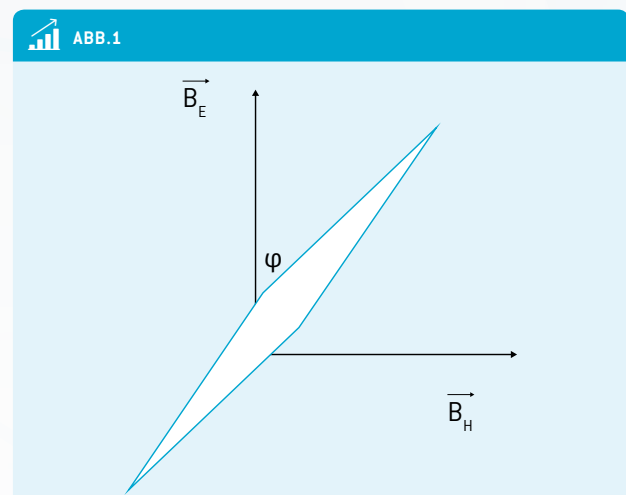
Diese Einheit passt gut zu den Physiklehrplänen in allen europäischen Ländern (jeder Physikschüler lernt etwas über das statische Magnetfeld und das Magnetfeld durch Gleichstrom).

3 | Aufgabe der Schüler

Die Schüler bestimmen das Ausmaß der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds. Dazu müssen sie zunächst einen elektrischen Kreislauf aufbauen. Zu beachten ist, dass die Stromquelle wegen ihres eigenen Magnetfelds weit von den Spulen entfernt sein muss. Wenn Ihre Schule keine Helmholtz-Spulen hat, lassen sie sich leicht mit den Schülern zusammen bauen (siehe Bauanleitung für Helmholtz-Spulen im eBook oder unter www.science-on-stage.de/istage2-downloads). Das Gerät erzeugt in der mittleren Ebene zwischen den beiden Rundspulen ein homogenes Magnetfeld. Für dieses Experiment müssen die Helmholtz-Spulen in Nord-Süd-Richtung ausgerichtet werden und sich in vertikaler Position befinden, so dass ihr Magnetfeld (B_H) senkrecht zur horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds (B_E) steht. Ein Kompass oder Smartphone mit Kompass-App zentral in dem Gerät zeigt in Richtung der Vektorsumme der beiden Komponenten des Magnetfelds, wie in **ABB. 1** dargestellt.

Natürlich gilt: $\tan \varphi = \frac{B_H}{B_E}$

Anmerkung: Ist der Magnetsensor des Smartphones ungenau, dann muss er neu kalibriert werden. Dazu wird das Smartphone einige Sekunden bewegt und gedreht, bis wieder die richtigen Werte angezeigt werden. Es darf sich kein Magnet in der Nähe des Smartphones befinden.





3|1 Schritt 1

Durch Drehen des Knopfs für die Stromzufuhr wird der Strom so angepasst, dass der Winkel $\varphi = 45^\circ$ beträgt.

In diesem Fall gilt: $\tan \varphi = 1$

Die Größenordnung des durch das Gerät erzeugten Magnetfelds entspricht der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds: $B_H = B_E$.

Wert des Stroms ablesen. Das Magnetfeld der Helmholtz-Spulen lässt sich mit folgender Formel berechnen:

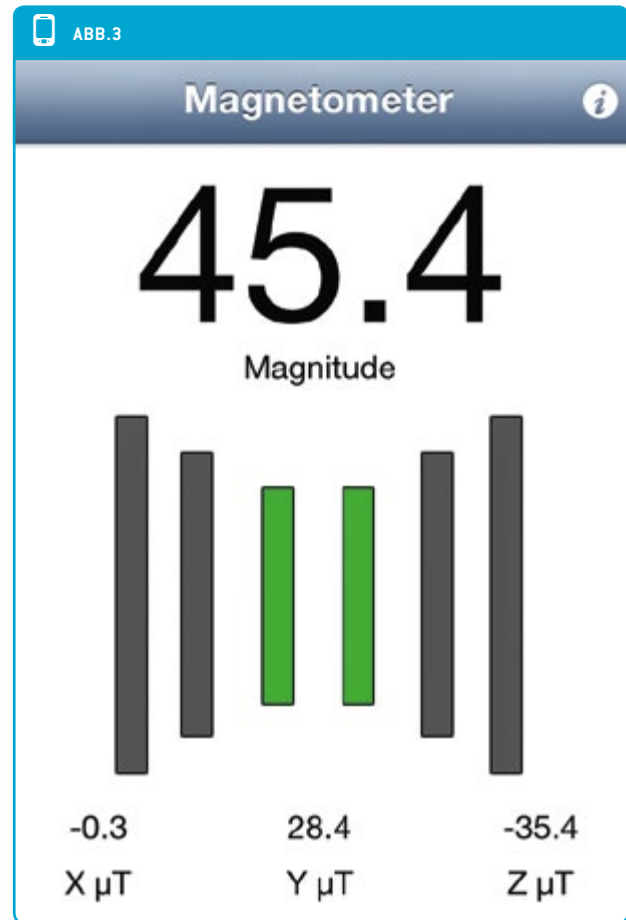
$$B_H = \mu_0 \cdot \frac{8 \cdot N \cdot I}{R \cdot 5\sqrt{5}}$$

wobei N für die Anzahl der Windungen in jeder Spule steht (hier 20), I für den Strom in den Spulen in Ampere, R für den Radius der Spulen in Metern (hier 20 cm).

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{V} \cdot \text{s}}{\text{A} \cdot \text{m}}$$

ist die magnetische Permeabilität im Vakuum.

Um den aus der Formel errechneten Wert zu vergleichen, wird eine Smartphone-App benötigt. Das Smartphone wird auf einen flachen Untergrund gelegt und mit Hilfe der Kompass-



App oder einer magnetischen Nadel parallel zur Nord-Süd-Richtung ausgerichtet (siehe Abbildung 2). Mit einer App wird das Magnetfeld in drei Dimensionen gemessen. Hier (siehe **ABB. 3**) sollte eine der Komponenten (in unserem Fall B_x) fast null sein. Die andere zeigt die horizontale Komponente (B_y). B_z zeigt dann die vertikale Komponente des Magnetfelds.

3|2 Schritt 2

Der Knopf für die Stromzufuhr wird so aufgedreht, bis der vorgeschlagene Stromwert durch die Spulen, den Widerstand und den Strommesser fließt. Die Werte werden wie in **ABB. 4** aufgeschrieben.

Die Deflektion des Kompass messen und die Winkel aufschreiben. Die dritte Spalte berechnen und aufschreiben.

Die beiden Graphen zeichnen:

- ▶ $\varphi = f(I)$ $\varphi(I)$
- ▶ $\tan \varphi = f(I)$, eine lineare Funktion $\tan \varphi(I)$

Die Linie ziehen, die am besten zu den Messpunkten des Graphen $\tan \varphi(I)$ passt, zwei Punkte dieser Linie auswählen und ihre Werte aufschreiben. Mit der Steigung k der linearen Kur-



ABB.4

I [mA]	φ [°]	$\tan(\varphi)$
0		
30		
60		
90		
120		
150		
180		
210		
240		
270		
300		

ve wird die Größenordnung der horizontalen Komponente wie folgt berechnet:

$$\tan \varphi = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot 8}{\underbrace{B_E \cdot R \cdot 5\sqrt{5}}_{\text{Steigung } k}} \cdot I \quad \text{und} \quad B_E = \frac{\mu_0 \cdot N \cdot 8}{k \cdot R \cdot 5\sqrt{5}} .$$

Die erhaltenen Werte durch Messung mit dem Smartphone wie in Ebene 1 dargestellt vergleichen. Die Werte außerdem mit den geschätzten Werten zum Erdmagnetfeld am eigenen Standort auf <http://www.ngdc.noaa.gov/geomag-web/> vergleichen. Der Längen- und Breitengrad lässt sich mit dem Smartphone ermitteln.

ABB.5

φ [°]	I [mA]	$\tan(\varphi)$
0	0	0.00
9	28	0.16
17	59	0.31
25	92	0.47
31	120	0.60
37	153	0.57
41	180	0.87
45	210	1.00
49	241	1.15
52	276	1.28
56	320	1.48

ABB.6

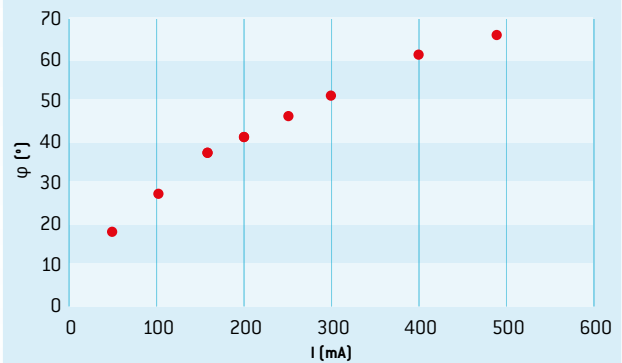
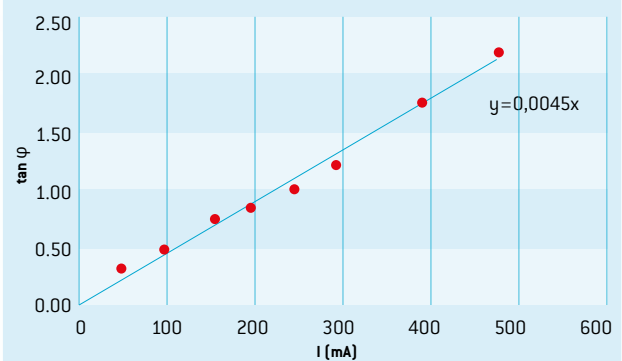


ABB.7



Die ABB. 5 – 7 zeigen Beispiele für unsere Messungen mit $R = 20$ cm und $N = 20$.

Der Wert der Steigung ist $k = 0,00451/\text{mA}$ und deshalb $B_E = 19,98 \mu\text{T}$.

3|3 Weitere Versuche

3|3|1 Beobachtung der Veränderung des Erdmagnetfelds über längere Zeit (etwa drei Monate)

Die Schüler können die horizontale und die gesamte Größenordnung des Erdmagnetfelds über eine längere Zeit hinweg messen. In dieser Phase brauchen die Schüler nur ihr Smartphone und die Magnetometer-App (Sensor Kinetics – Android). Die Messung muss jedes Mal am selben Ort erfolgen, um vergleichbare Werte zu liefern. Danach können die Schüler die Daten in einen Graphen einzeichnen und die Fluktuation besprechen.

3|3|2 Vergleich der Magnetfeldwerte mit dem Breitengrad

Schüler aus verschiedenen Schulen können in ein gemeinsames Projekt eingebunden werden. Dazu müssen sie das horizontale Magnetfeld an ihrem Heimatort messen und ihren



Breitengrad notieren. Nach Aufnahme dieser Daten werden die Schüler merken, dass das Magnetfeld der Erde sich jeden Tag minimal verändert und dass es einen beträchtlichen Gradienten in der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds vom Äquator bis zum Nordpol gibt (auf der Nordhalbkugel). Die Daten für diesen Versuch sind in einer Datenbank hinterlegt (siehe www.science-on-stage.de/istage2-downloads).

4 | Option zur Kooperation

Teilnahme an einem europäischen Wissenschaftsprojekt

Als Teil dieser Lehrereinheit haben wir eine Moodle-Datenbank erstellt (www.science-on-stage.de/istage2-downloads), in die Sie Ihre Messungen der horizontalen Komponente des Erdmagnetfelds hochladen können. Bitte geben Sie auch das Datum Ihrer Messung sowie den Ort und seine globalen Koordinaten an.

Hier haben Sie auch Zugang zu den zuvor von anderen Teilnehmern – Lehrern wie Schülern – aufgenommenen Werten.

5 | Fazit

Diese Einheit hilft Schülern dabei, zu verstehen, dass die Genauigkeit der analogen Messung (mit einem Paar Helmholtz-Spulen und einem Kompass) ebenso gut ist wie die digitaler Messungen (mit dem Smartphone).

Die Schüler werden merken, wie moderne Technologie die wissenschaftliche Forschung verbessert. Die Dauer des Messverfahrens hat sich enorm verkürzt. Außerdem ist das Smartphone ein multifunktionales Messgerät.

Die Schüler können ihre Ergebnisse mit aktuellen Daten vergleichen. Sie sehen sofort wie exakt die Ergebnisse sind und können sie teilen.



Hinweise für den Einsatz von Smartphones im Unterricht

Nachdem Sie die iStage 2 Broschüre gelesen haben, möchten Sie die Lehreinheiten vielleicht mit Ihren Schülern nutzen. Hier ein paar Hinweise, die Ihnen einiges Kopfzerbrechen ersparen können und Rechts- und Sicherheitsfragen aufzeigen:

Genehmigung Ihrer Schule

Viele Schulen in Europa erlauben Schülern nicht, ihr Smartphone innerhalb der Schule zu nutzen und haben sehr strenge Regeln für den Gebrauch von Smartphones im Unterricht. Wenn Sie aber planen, Smartphones für wissenschaftliche Experimente zu nutzen, können Sie problemlos eine zeitlich begrenzte Sondergenehmigung für diesen speziellen Zweck einholen. Zeigen Sie Ihrem Direktor einfach Ihre iStage 2 Broschüre und die von Ihnen ausgewählte Lehreinheit. Sagen Sie, dass Sie mit Ihren Schülern Experimente durchführen wollen und erstatten Sie hinterher Bericht. Dann sollte die Schule Ihnen und Ihren Schülern die Nutzung von Smartphones genehmigen.

Unterschiedliche Betriebssysteme und Apps

In iStage 2 haben wir uns auf die Betriebssysteme Apple iOS und Google Android beschränkt. In den Lehreinheiten haben wir Apps für beide Systeme angegeben. Gleichwertige Apps für Microsoft Windows Phone und BlackBerry sind leicht zu finden.

Nicht jeder Schüler hat ein Smartphone

Deshalb empfehlen wir, dass jeweils zwei bis drei Schüler die Smartphone-Messungen zusammen durchführen. Die Lehrer, mit denen wir zusammenarbeiten, haben berichtet, dass an weiterführenden Schulen in Europa mindestens ein Drittel der Schüler ein Android- oder iOS-Smartphone besitzt.

Nicht jeder Schüler hat einen Vertrag mit unbegrenztem Datenvolumen

Zur Übertragung der gesammelten Daten auf einen Computer haben alle Smartphones Kabelverbindungen, so dass man nicht unbedingt eine WLAN-Verbindung braucht. Dies ist wichtig an Schulen, in denen WLAN-Verbindungen wegen gesundheitlicher Bedenken verboten sind. Natürlich ist es manchmal einfacher, Dropbox oder einen ähnlichen gemeinsamen Online-Speicher für die Dateien zu nutzen, aber es besteht immer die Möglichkeit, eine direkte Kabelverbindung zum Computer einzurichten. Was Mobilfunkverträge mit Datenlimit angeht, informieren Sie Ihre Schüler, ob die Aufgabe eine Internetverbindung erfordert. Wenn Sie in einem

Klassenzimmer sind, können Sie für eine begrenzte Zeit einen WLAN-Zugang mit anderen Nutzern teilen, indem Sie für die Stunde einen Laptop als Hotspot nutzen.

Smartphones und soziale Netzwerke

Sie sollten sich darüber im Klaren sein, dass die Versuchung, sich in soziale Netzwerke einzuloggen, für die Schüler sehr groß ist, wenn sie ihr Smartphone im Klassenzimmer (oder auf einem Schulausflug) nutzen dürfen. Sie können dies auf zwei Arten in den Griff bekommen:

- ▶ Sie können den Schülern sagen, dass Sie ihnen vertrauen, dass sie ihr Smartphone im Unterricht nicht für andere Zwecke nutzen. Es liegt bei Ihnen, ob Sie „cool“ bleiben wollen, wenn unerwünschte Verbindungen in einem gewissen Rahmen bleiben, aber meistens dürfte es keine Probleme geben, wenn Sie den Schülern grundsätzlich vertrauen und den Unterricht interessant gestalten.
- ▶ Bei manchen Schülern wird Ihnen nichts anderes übrigbleiben, als ihnen die Einschaltung des „Flugmodus“ vorzuschreiben. Es ist leicht zu überprüfen, ob sie diesen Modus wirklich eingestellt haben, denn auf dem Bildschirm sollte in einer Ecke ein kleines Flugzeug erscheinen. Dies verlängert die Akkulaufzeit des Telefons deutlich und wird für langwierige Messungen dringend empfohlen. Der Modus könnte allerdings auf manchen Telefonen einige Sensoren wie das GPS abstellen.

Haftungsregeln und -vereinbarungen vorbereiten

Unter www.science-on-stage.de/istage2-downloads finden Sie eine Mustervereinbarung, die Sie Ihren Schülern und deren Eltern zur Klärung der Haftung vorlegen können. Da die Smartphones der Schüler zum Einsatz kommen, müssen Sie dafür sorgen, dass die Schüler keinen finanziellen Ausgleich von ihrem Lehrer verlangen können, wenn sie ihr Handy aufgrund der Missachtung der Sicherheitsregeln beschädigen, über die Sie die Schüler zu Beginn der Stunde informiert haben.



Smartphone-Sicherheit

Smartphones sind empfindliche elektronische Geräte. Schüler neigen zur Achtlosigkeit, wenn sie Spaß haben und allzu begeistert bei der Sache sind. Erinnern Sie sie daran, ihr Gerät stets gut festzuhalten und stellen Sie sicher, dass sie es für Versuche auf einer Achterbahn oder zur Messung ihrer sportlichen Leistungen in eine stabile Hülle stecken. Wenn Sie eine Aktion planen, die für das Smartphone gefährlich werden

könnte, testen Sie sie zunächst mit Ihrem eigenen Gerät und verwenden Sie eine solide Hülle nach Airbag-Vorbild. Für Experimente mit freiem Fall könnten Sie in Ihrer Schule die Anschaffung einiger Bluetooth-Sensoren anregen, die sich in einer stabilen Plastikhülle befinden und im Internet für weniger als 20 Euro erhältlich sind.

Jean-Luc Richter und Dr. Miguel Andrade

App-Liste und Zusatzmaterialien



Auf unserer Webseite finden Sie die komplette Liste aller Apps und Programme, die für diese Unterrichtseinheiten genutzt werden können unter www.science-on-stage.de/istage2-downloads.

Ausblick

Dieses Projekt wird fortgesetzt. Wenn Sie an Lehrerfortbildungen, die auf dieser Publikation basieren, interessiert sind, oder falls Sie sehen wollen wie sich das Projekt weiterent-

wickelt, kontaktieren Sie uns bitte unter info@science-on-stage.de. Neue Lehrkräfte sind herzlich willkommen!



Teilnehmerinnen und Teilnehmer

Miguel	Andrade	Spanien		Koordinator
Daniel	Bengtsson	Schweden		
Pere	Compte	Spanien		
Maria	Dobkowska	Polen		
Immacolata	Ercolino	Italien		
Márta	Gajdosné Szabó	Ungarn		
Jörg	Gutschank	Deutschland		Hauptkoordinator
Phillippe	Jeanjacquot	Frankreich		
Lilla	Jónás	Ungarn		
Stephen	Kimbrough	Deutschland		
Dionysis	Konstantinou	Griechenland		
Mirosław	Los	Polen		
Marc	Montangero	Schweiz		
Marco	Nicolini	Italien		
Anna Maria	Pavlou	Zypern		
Gerhard	Rath	Österreich		
Lorenza	Resta	Italien		
Jean-Luc	Richter	Frankreich		Koordinator
Bernard	Schriek	Deutschland		Programmierexperte
Volker	Smit	Deutschland		
Richard	Spencer	Großbritannien		
Damjan	Štrus	Slowenien		
Emmanuel	Thibault	Frankreich		
Corina	Toma	Rumänien		
Zbigniew	Trzmiel	Polen		



Überblick über Aktivitäten im Rahmen von iStage 2



Begeisterung für Technik wecken – FIRST® LEGO® League (FLL)

Das Bildungsprogramm FIRST® LEGO® League (FLL) fördert naturwissenschaftlichen Nachwuchs. Der Wettbewerb widmet sich in diesem Jahr dem Lernen in der digitalen Gesellschaft.



Schüler von 10 bis 16 Jahren können an dem weltweiten Robotik-Wettbewerb teilnehmen und werden so spielerisch an Wissenschaft und neue Technologien herangeführt. Die Teilnehmer bauen und programmieren mit einem vergleichbaren System (LEGO Mindstorms) einen autonomen Roboter, der knifflige Aufgaben lösen muss. Alle Teams forschen zusätzlich an einem vorgegebenen Thema und präsentieren ihre Ergebnisse einer fachkundigen Jury. Im Wettbewerb 2014/15 entwickeln die Teilnehmer das „Klassenzimmer der Zukunft“.

Die Idee zum Bildungsprogramm FIRST® LEGO® League stammt von der Non-Profit-Organisation FIRST (For Inspiration and Recognition of Science and Technology) aus den USA, welche auch für die Namensgebung verantwortlich ist. Technische Grundlage ist das Robotersystem von LEGO Mindstorms. In den mehr als 15 Jahren, seit denen es FIRST® LEGO® League gibt, konnte sich der Wettbewerb weltweit etablieren.

2013 wurde FLL in mehr als 70 Ländern und mit fast 23.000 Teams organisiert. In Zentraleuropa wird der Wettbewerb unter der Schirmherrschaft des gemeinnützigen Vereins HANDS on TECHNOLOGY e.V. durchgeführt.

Die FLL Wettbewerbe in Zentraleuropa finden noch bis Mitte Februar 2015 statt – die Anmeldung für den nächsten Wettbewerb startet im März 2015. Weitere Informationen unter www.first-lego-league.org.



SAP University Alliances: Inspiration für Informationstechnologien an Schulen weltweit

Durch das SAP University Alliances Programm erhalten mehr als 1.800 Universitäten in weltweit über 80 Ländern Zugang zu SAP-Technologien und -Wissen. Ziel ist es, hochqualifizierten Absolventen wichtige Fähigkeiten beizubringen, die sie in der Arbeitswelt der Zukunft brauchen werden. Dank einer Community mit mehr als 8.000 Hochschullehrern und über 750 Veranstaltungen jährlich, werden Studenten zahlreiche Möglichkeiten geboten, SAP zu erleben. Doch auch für Schulen hält University Alliances spannende Programme bereit.

erp4school – Die interaktive Lernplattform für betriebswirtschaftliche Lerninhalte

Kaum ein Unternehmen kann heute noch auf hochqualifizierte EDV-geschulte Mitarbeiter verzichten. Daher gewinnt die Ausbildung der Mitarbeiter im Umgang mit komplexen, industriellen Standardprogrammen zunehmend an Relevanz. Hier setzt erp4school an.

Das Programm wird derzeit an 242 Schulen in Deutschland, Österreich und Afrika eingesetzt. Es ermöglicht Schülern und Auszubildenden ein betriebswirtschaftliches Verständnis von Firmen, Geschäftsprozessen und Arbeitsabläufen zu entwickeln, indem Kenntnisse über die Organisation eines Unternehmens und dessen Geschäftsprozesse in ganzheitlicher Weise vermittelt werden: Einkauf und Vertrieb spielen ebenso eine Rolle wie Finanzbuchhaltung oder Personalwesen.

Mittels eines didaktisch aufgebauten Szenarios erhalten Schüler innerhalb des erp4school-Programms Einblicke in den prozessorientierten Einsatz von ERP-Systemen in der betrieblichen Praxis. Darüber hinaus lernen sie neueste Technologietrends wie SAP HANA® kennen.

Ein bundesweites Netzwerk von berufsbildenden Schulen, Wirtschaftsgymnasien und weiteren interessierten akademischen Institutionen sowie in Afrika angeschlossenen Bildungseinrichtungen tragen dazu bei, erp4school erfolgreich anzubieten und kontinuierlich weiterzuentwickeln.

Die Lehrer der teilnehmenden Schulen können an Einführungen und Fortbildungen teilnehmen. Die Schulen erhalten dann ein vorkonfiguriertes SAP ERP System in der Cloud. Und Schülern und Lehrern stehen in der kontinuierlich weiter entwickelten Online-Bibliothek umfangreiche Zusatzmaterialien zur Verfügung.

Young Thinkers – Junge Menschen für Technologie begeistern und ihren Gründergeist wecken

Basierend auf den Erfahrungen mit erp4school, startete SAP University Alliances 2014 mit „Young Thinkers“ ein neues Programm, das sich an Schüler der Sekundarstufen I und II richtet. Schulen haben dadurch die Möglichkeit, SAP Software unterstützte Lernangebote in vielfältiger Form in den Unterricht zu integrieren. Das Programm bietet Lerninhalte zu Bereichen wie Systemisches Denken, Programmierung, Geschäftsprozesse, Datenanalyse und Web Design in unterschiedlichen Schwierigkeitsgraden und Komplexität.



Zusätzlich erhalten Lehrer Zugang zu einem weitgefächerten Angebot von Lerninhalten. Und Schülern wird die Möglichkeit geboten, an Wettbewerben, Projekten oder auch Veranstaltungen mit Studenten teilzunehmen. „Young Thinkers“ will Interesse an den MINT Fächern wecken, gleichzeitig aber auch anregen, den eigenen „Gründergeist“ zu wecken. Junge Menschen sollen dadurch ermutigt werden, sich für einen naturwissenschaftlichen Beruf zu entscheiden oder vielleicht auch später einmal ein eigenes Unternehmen zu gründen.

Kontakt und weitere Informationen über

- ▶ erp4school@mmbbs.de
- ▶ uasupport@sap.com





**Science on Stage Deutschland –
The European Network for Science Teachers**

... ist ein Netzwerk von Lehrkräften für Lehrkräfte aller Schularten, die Naturwissenschaften und Technik unterrichten.

... bietet eine Plattform für den europaweiten Austausch anregender Ideen und Konzepte für den Unterricht.

... sorgt dafür, dass Naturwissenschaften und Technik im schulischen und öffentlichen Rampenlicht stehen.

Science on Stage Deutschland e.V. wird maßgeblich gefördert von think ING., der Initiative für Ingenieur Nachwuchs des Arbeitgeberverbandes GESAMTMETALL.

Machen Sie mit!

www.science-on-stage.de

Weitere Materialien



Laternenmond und heiße Ohren

- ▶ Sprachförderung im Grundschulunterricht durch Forschendes Lernen an Biografien
- ▶ Experimente, Arbeitsblätter, Texte etc.



iStage – Unterrichtsmaterialien für IKT (Informations- und Kommunikationstechnologien) in den Naturwissenschaften

- ▶ Biologie und Gesundheit
- ▶ Unsere Umwelt
- ▶ Vom Fahrrad zum Weltraum



iStage 3 – Fußball im MINT-Unterricht

- ▶ Was ist die perfekte Ballflugkurve, welche besonderen Eigenschaften hat der Rasen im Stadion und wie hoch ist die CO₂-Bilanz einer Europameisterschaft? In Fußball steckt eine Menge MINT!

Die Broschüren sind kostenlos erhältlich!

Bestellung per E-Mail unter info@science-on-stage.de oder als PDF-Download auf www.science-on-stage.de.

Ermöglicht durch



HAUPTFÖRDERER VON
SCIENCE ON STAGE DEUTSCHLAND

think
ING.
Die Initiative für
Ingenieurwachstums

